

苏通 GIL 运输专用机具用轨道设计研究

张书豪¹, 张鹏飞², 凌建³, 李刚³, 徐军³, 闫俊慧⁴, 宋帅⁴

(1. 国家电网公司 交流建设分公司, 北京 100052; 2. 国家电网有限公司, 北京 100031;
3. 江苏省送变电有限公司, 江苏 南京 210037; 4. 太原重工股份有限公司, 山西 太原 030024)

摘 要:通过对 GIL 运输专用机具对轨道的需求研究,明确了轨道设计的基本输入条件,从而使得轨道设计研究得以开展。详细研究了轨道的钢轨、扣件、道床等重要组成,深入探讨了轨道的排水、敷设精度等关键问题,为苏通 GIL 综合管廊工程的轨道设计工作指明了方向,为确保工程安全、高效、有序的施工奠定了坚实的基础。

关键词:GIL 运输专用机具;轨道;道床;敷设精度

中图分类号:TM7 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)04-0188-04

Research on Track Design of Special Equipment for Sutong GIL Transportation

ZHANG Shuhao¹, ZHANG Pengfei², LING Jian³, LI Gang³, XU Jun³, YAN Junhui⁴, SONG Shuai⁴

(1. Engineering management department State Grid Co., Ltd., Beijing 100052, China;

2. State Grid Co., Ltd., Beijing 100031, China;

3. Jiangsu Diversion Co., Ltd., Nanjing 210037, China; 4. Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd., Taiyuan 030024, China)

Abstract: In this paper, the basic input conditions of the track design are clarified through the research on the demand of GIL special transportation, thus extending the progress in the study of the track design. The important components, such as the rail, fastener and ballast, are studied in detail, and the key problems such as the drainage and accuracy of laying the track rail are deeply discussed. The direction is pointed out for the track design work of the Sutong GIL comprehensive pipe Corridor project, thus laying a solid foundation for ensuring the safe, efficient and orderly construction of the project.

Keywords: special transportation for GIL; rail; ballast bed; laying precision

0 引言

苏通 GIL 综合管廊工程,是目前世界上电压等级最高、输送容量最大、技术水平最高的超长距离 GIL 创新工程;是华东地区特高压环网合环运行的“咽喉要道”和控制性单体工程。工程建成后世界首个特高压交流环网将合环运行。

工程位于沈海高速苏通长江大桥上游 1 km 处,华东特高压环网合环运行的咽喉工程起于南岸苏州引接站,止于北岸南通引接站,采用水下盾构法修建。隧道长 5 530.5 m,盾构直径 12.1 m,底面标高-74.83 m,最大坡度 5%,最大水土压力高达 9.5 倍大气压力,是目前国内埋深最深、水土压力最高的隧道。

工程运用世界上 GIL 输电技术,即气体绝缘金属封闭输电线路,采用压力气体将输电金属导体绝缘,并将气体和导体封闭在接地的金属外壳中。被称为电缆送电、架空输电外的第 3 种输电技术,具有传输容量大、损耗小、不受环境影响、运行可靠性高、节省占地等显著优点。

GIL 管线单相长度 5.8 km,六相总长约 35 km。为了安全、高效、优质地完成工程建设,专题研制了苏通 GIL 运输专用机具,用于工程建设期间 GIL 单元的运输及预就

位。

苏通 GIL 运输专用机具采用轮轨式技术路线,利用预先敷设在管廊内部的轨道为机具提供导向。所以,轨道设计是否合理、敷设是否精准将直接关系到 GIL 设备运输与预就位的安全性和高效性。

1 轨道设计需求分析

苏通 GIL 综合管廊工程所需的轨道主要用于工程建设期间苏通 GIL 运输专用机具运行使用。根据目前施工计划推算,其运输次数不超 1 000 次;工程建成投运后如出现 GIL 设备故障,且需要更换 GIL 单元时才使用,故其轨道的使用频次很低。

根据目前 GIL 运输专用机具的设计方案,其最高运行时速为 6 km/h,但根据国家电网公司相关施工安全规范的要求,隧道内部运行的车辆速度不得超过 5 km/h。专用机具装载 GIL 单元时,载荷位于机具一侧,所以两侧轮压相差较大,但其最大轮压不超过 120 kN。单侧车轮产生的最大横向力不超过 18 kN,两侧车轮中心距 2 m,如图 1 所示。

工程建设期间,管廊内部较为繁忙,除 GIL 运输专用机具外,还会同时存在其他轮式工程车辆,这就要求轨道



图1 GIL 运输专用机具装载 GIL 单元示意图

与地面齐平,尽量减小轨道对其他轮式工程车辆的影响。

GIL 输电技术虽然是目前世界上最先进的输电技术,但 GIL 单元的运输过程有着极为严苛的技术要求,要求全程车辆运行加速度 $\leq 3g$ 。由于苏通 GIL 综合管廊的内部空间限制,GIL 运输专用机具在满足 GIL 单元运输及预就位的功能前提下,没有过多的空间布置车轮缓冲装置。这就对轨道的平顺性提出了较高的要求。

GIL 运输专用机具的车轮为单轮缘圆柱踏面起重机车轮,车轮尺寸如图 2 所示。

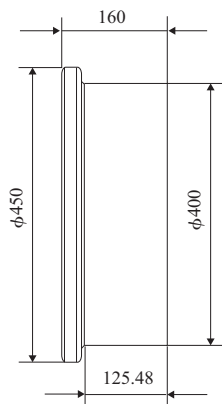


图2 GIL 运输专用机具车轮踏面示意图

2 专用轨道设计研究

2.1 钢轨选择研究

钢轨是轨道上部结构的重要组成部分之一,它不仅引导车辆按照一定的方向运行,且承受来自车轮的压力、冲击力和纵向、横向的惯性力、离心力,并经轨枕将载荷传递给道床及巷道底板(轨道的下部结构),为车轮的滚动提供阻力踏面^[1]。

通常采用的行走轨道有 3 种:起重机钢轨、铁路钢轨和方钢。起重机钢轨的顶部做成凸状,底部是具有一定宽度的平板,增大与基础的接触面;铁路轨道的截面为工字型,具有良好的抗弯强度;方钢可以看作是平顶钢轨,由于对车轮的磨损大,现在已很少采用。

钢轨材质通常用含有碳、锰较高的钢材轧制而成。综合考虑钢轨的施工工装、扣件辅材等,在本项目中选用铁路钢轨,钢轨材料为 U71Mn 钢,其质量分数如表 1 所示^[1]。

表1 U71Mn 钢轨质量分数

化学元素	质量分数/(%)
C	0.65~0.77
Si	0.15~0.35
Mn	1.10~1.50
P	≤ 0.040
S	≤ 0.040

一般情况下轮轨是密切配合的,由于运输专用机具的车轮直径为 400 mm,故而一般推荐采用 24 kg/m 以上型号的钢轨。综合考虑钢轨及扣件采购周期、施工工装、施工工艺等因素,最终确定采用 50 kg/m、25 m 定尺长、U71Mn 无螺栓孔钢轨,钢轨型式尺寸及技术条件应符合 TB/T 2344—2012《43 kg/m~75 kg/m 钢轨订货技术条件》的规定。

2.2 扣件选择研究

由于苏通 GIL 综合管廊是采用水下盾构法修建而成,内部铺设预制箱涵,将管廊分为上下两部分,运输专用机具轨道修建在箱涵顶部。考虑到工程建成后,综合管廊内部轨道的维护及保养,要求敷设的轨道具有一定的调整能力。

根据钢轨特点及苏通 GIL 综合管廊的结构特点,采用弹条 I 型分式扣件,铺设标准为 1 600 对/km;扣件主要设计参数:采用 TB/T1495《弹条 I 型扣件》的 B 型弹条,轨距调整量+4 mm~-8 mm,调高量为 20 mm。

扣件采取螺旋道钉拧进埋在混凝土结构层的塑料套管与下部结构层连接;预埋塑料套管总长度 119 mm,埋入混凝土结构层长度 116 mm,其中 68 mm 埋入整体道床内,48 mm 深度需采用植筋胶植入隧道箱涵结构。同时,为了减小轨道对其他轮式工程车辆的影响,并且便于扣件更换或调整,轨道两侧嵌入橡胶压条填充块,仅预留轮缘槽空间,如图 3 所示。

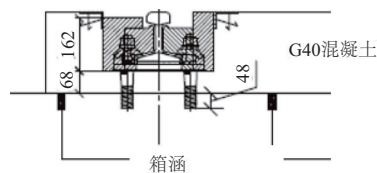


图3 钢轨及扣件结构尺寸示意图

由于 GIL 运输专用机具采用的是单轮缘圆柱踏面起重机车轮,这有别于通常火车采用的圆锥踏面车轮,故轨道无需设置轨底坡,这也就要求扣件的铁垫板不设轨底坡。

2.3 道床形式研究

道床是轨道的重要组成部分,是轨道框架的基础,铺设于路基、桥梁或隧道等下部结构之上,钢轨、轨枕或支撑块之下的碎石、卵石层或混凝土层^[2]。

道床一般分为普通有砟道床、沥青道床和混凝土整体道床。有砟道床通常由具有一定粒径、级配和强度的硬质碎石堆集而成,在次要线路上,也可以使用级配卵石或粗砂。沥青道床是为了改善普通石砟道床的散体特性而加

入乳化沥青或沥青砂浆的结构形式。整体道床常为现浇钢筋混凝土结构,常用于不易变形的隧道内或桥梁上^[3]。

由于苏通 GIL 综合管廊工程建设期间,管廊内部较为繁忙,除 GIL 运输专用机具外,还会同时存在其他轮式工程车辆,这就要求轨道与地面齐平,尽量减小轨道对其他轮式工程车辆的影响。因此,本项目采用混凝土整体道床。整体道床具有维护工作量少、结构简单、整体性强及表面整洁等诸多优点。但另一方面,由于整体道床是连续现浇的混凝土,一旦基底发生沉降,修补极为困难,所以要求道床下基础的工后沉降量 $\leq 15\text{ mm}$ 。

在本工程中,由于轨道直接敷设在管廊内部的预制箱涵上部,是一种非常坚硬的基础结构,所以满足混凝土整体道床的设计要求。综合考虑 GIL 运输专用机具两侧轮间距离为 2 m,道床设计宽度为 2.7 m。同时为了节省有限空间、降低道床的整体高度,道床设计为采用扣件直接式整体道床。道床沿纵向每隔 6 m 设置伸缩缝,伸缩缝宽 20 mm,中间以沥青木板填充、顶面 30 mm 高度用沥青麻筋封顶。道床混凝土为 C40 混凝土,道床内布设双层钢筋网,道床下结构层应预留钢筋套筒与道床连接牢固。道床的整体设计如图 4 所示。

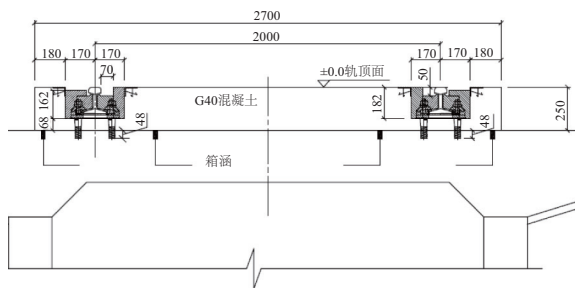


图 4 道床结构尺寸示意图

2.4 排水设计研究

由于苏通 GIL 综合管廊是穿越长江的江底隧道,最低标高为-74.83 m,其纵断面如图 5 所示。

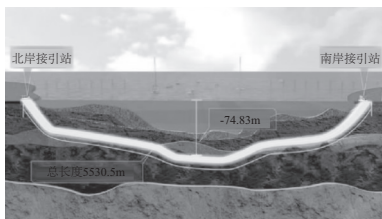


图 5 管廊纵断示意图

由图 5 可见由于地势原因,管廊内部的积水会沿轮缘槽不断向最低点汇集,如废水不及时排除,将腐蚀钢轨,严重影响轨道的使用寿命。

为排除钢轨轮缘槽内积水,在箱涵废水泵房对应道床位置设置长 1 m,宽 0.4 m 集水坑,由于地势原因积水会不断在集水坑处汇集。集水坑范围设置 2 根直径 250 mm 的铸铁管将废水引至箱涵废水泵房内;钢轨轮缘槽对应道床集水坑设置宽度 200 mm 的横向排水沟将轮缘槽内积水引入集水坑;同时为了避免集水坑与排水横沟对其他轮式工程车辆产生影响,其上方均设置钢格栅盖板,如图 6 所示。

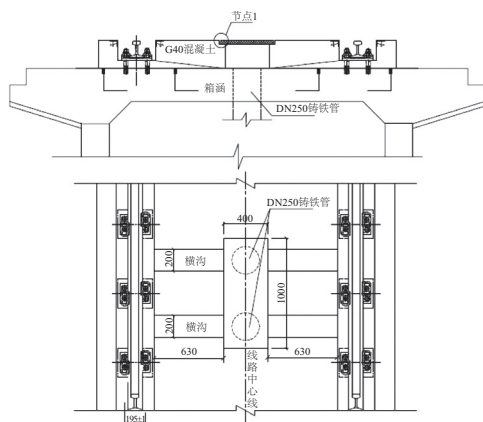


图 6 排水设计示意图

2.5 轨道敷设精度研究

由于 GIL 运输专用机具是为了苏通 GIL 综合管廊工程研制的专用机具,其在国内外尚属首例,目前并没有明确的相关规范对其轨道精度进行要求,经过对相关标准的查阅,关于其轨道敷设精度,主要可以参考以下两个标准:TB 10082-2017《铁路轨道设计规范》、GB/T 10183-2010《起重机 车轮及大车和小车轨道公差》。这两个标准中均对轨道的敷设精度提出了相关要求,如表 2 所示^[4-5]。

表 2 轨道敷设精度要求

项目	TB 10082-2017	GB/T 10183-2010
轨距	-2 mm~+3 mm	±3 mm,最大不超±5 mm
轨向	4 mm(弦长 10 m)	±1 mm(2 m 检测长度)
高低	4 mm(弦长 10 m)	未提及
水平	4 mm	±4.2 mm
扭曲	4 mm(基长 6.25 m)	4 mm

表 2 中各项精度要求的解释如下:

- 1) 轨距:钢轨顶面下 16mm 范围内两股钢轨作用边之间的最小距离;
- 2) 轨向:轨道中心线在水平面上的平顺性;
- 3) 高低:轨道沿线路方向的竖向平顺性;
- 4) 水平:线路左右两股钢轨顶面的相对高差;
- 5) 扭曲(三角坑):三角坑,两股钢轨不在一个平面上,相对固定于 1 个转向架上的 4 个车轮走在扭曲的轨道上,其中 3 个车轮支承于轨面,1 个车轮将出现减载、悬空甚至脱轨的可能,这种可能性与转向架的固定轴距有关。

由表 2 的对比可以看出,在轨道敷设时 TB 10082-2017《铁路轨道设计规范》对轨距、轨向、高低、水平、扭曲相关精度要求更高,所以关于轨距、轨向、高低、水平、扭曲的精度要求需要按照 TB 10082-2017《铁路轨道设计规范》执行。

由于一般国内铁路、地铁的设计中要求有 1:40 的轨底坡,但并没有相关精度要求,而本项目中要求不设轨底坡,并且 GB/T 10183.1-2010《起重机 车轮及大车和小车轨道公差 总则》中明确要求轨道表面的倾斜度不得超过轨道表面宽度的 6‰。故关于轨道表面倾斜度的要求要按照 GB/T 10183.1-2010《起重机 车轮及大车和小车轨

道公差 总则》执行。

由于 GIL 设备要求运输过程中加速度 $\leq 3g$,这就对轨道平顺性和连续性要求较高,故最优方案就是采用无缝轨道。消除车轮经过轨道接头处,因缝隙而产生的冲击。上述两规范对钢轨接头处允许的最大错位的要求,如表 3 所示^[4-5]。

表 3 钢轨接头允许的最大错位

项目	标准要求	
	TB 10082-2017	GB/T 10183-2010
垂直/mm	0.5	1
水平/mm	0.5	1

由表 3 的对比不难看出 TB 10082-2017《铁路轨道设计规范》对钢轨焊接接头的要求更为严格。故钢轨接头焊接要求应遵循此规范。

3 结语

苏通 GIL 综合管廊轨道的设计工作是整个工程设计

工作中一项重要的组成部分,其设计的合理与否将直接关系到轨道施工效率、敷设精度、工程进度。面对国内外尚无借鉴实例的全新课题,在轨道设计工作中,需要充分发挥创造精神,大胆假设,小心求证,充分论证,确保轨道设计的合理,保证轨道施工的精度,为安全、高效、优质地完成苏通 GIL 综合管廊工程提供强有力的支撑。

参考文献:

- [1] 张质文,王金诺,程文明,等. 起重机设计手册[M]. 北京:中国铁道出版社,2013.
- [2] 李成辉,高等学校土木工程专业系列教材·轨道[M]. 第2版. 成都:西南交通大学出版社,2012.
- [3] 李超雄,常光辉,曲玉福,等. 高速铁路线路养护维修[M]. 北京:中国铁道出版社,2012.
- [4] GB/T10183.1-2010 起重机 车轮及大车和小车轨道公差 总则[S].
- [5] TB10082-2017 铁路轨道设计规范[S].

收稿日期:2019-04-29

(上接第 175 页)

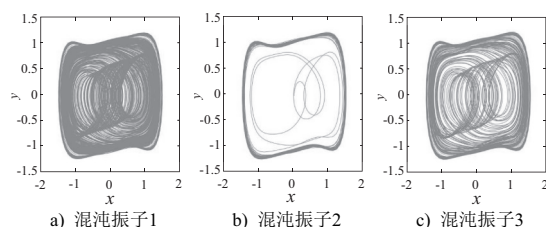


图 6 加入外圈故障轴承信号系统相轨迹图

可以看到,当加入正常轴承信号时,3 个混沌振子均未发生相变。当加入故障信号时,只有混沌振子 2 发生相变,说明该混沌振子阵列检测出了轴承中的故障信号。混沌振子 1 和 3 并未发生相变,原有故障信号与这两个混沌振子的相位差较大,故障信号幅值与混沌振子周期策动力幅值叠加后的总周期策动力幅值无法使系统产生相变。对比传统的混沌振子系统,其初始相位通常为 0。进行检测后,其检测相轨迹图与混沌振子 1 相仿,系统未发生相变,未检测出故障频率的存在。显然传统的混沌振子系统在检测该故障信号时,有很大的概率无法检测出故障信号,系统检测结果可信度较低,而本文设计的混沌振子能检测出该故障频率,极大地提高了检测概率。

5 结语

利用 Duffing 混沌振子对微弱周期信号的敏感性以及对噪声的免疫力,实现了对滚动轴承故障微弱信号的检测。研究过程中得出以下结论:

1) 微弱周期信号与混沌系统之间的相位差会影响检测结果,当相位差超过一定限值时,混沌振子将无法检测出微弱周期信号。在系统周期策动力幅值取到理论临界值情况下,设计 2 个相位的混沌振子就能覆盖到整个检测

范围。

2) 在本文使用参数下的 Duffing 混沌振子,使用 3 个相位的混沌振子既能保证检测相位覆盖整个 2π 区域,同时还能保证检测信噪比。

3) 使用 3 个相位的混沌振子阵列,成功检测出滚动轴承外圈故障微弱信号。该检测系统对于传统的 Duffing 混沌振子来说,能有效提高检测信噪比,大大减小了微弱信号漏检、误检的几率。Duffing 混沌振子在检测滚动轴承故障信号上具有很大的应用前景。

参考文献:

- [1] 朱琳,李贵子,雷小亚,等. 基于小波包去噪的循环自相关方法在轴承故障诊断中的应用[J]. 机械设计与自动化,2016,45(2):153-155.
- [2] Donald L. Bix. Chaotic oscillators and Complex Mapping Feed Forward Networks (CMFFNS) for signal detection in noisy environments[C]. IEEE International Joint Conference on Neural Networks, IEEE Conference, 1992,2:881-888.
- [3] 朱来普,张陆勇,谢文凤,等. 基于 Duffing 混沌振子的微弱信号检测研究[J]. 信号与信息处理,2012,42(1):17-20.
- [4] 谢涛,魏学业. 混沌振子在微弱信号检测中的可靠性研究[J]. 仪器仪表学报,2008,29(6):1665-1669.
- [5] 魏新建. 基于 Duffing 混沌振子的微弱信号检测方法[D]. 天津:天津大学,2010.
- [6] 姜海燕. 基于混沌理论的微弱信号检测系统的研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2011.
- [7] 任学平,刘桐桐. 用改进的 Duffing 理论判断轴承故障的微弱信号[J]. 噪声与振动控制,2014,34(1):173-177.
- [8] 李岭阳,王华庆,徐新韬,等. 混沌振子在滚动轴承故障特征提取中的应用[J]. 动力学与控制学报,2016,14(2):177-181.
- [9] 李月,杨宝俊,石要武. 色噪声背景下微弱正弦信号的混沌检测[J]. 物理学报,2003,52(3):526-530.

收稿日期:2018-04-10