

施工角度对地铁设计规范轨道章节的探讨

黄 闯 郑虎哲 孙芝杨

哈尔滨工程大学 黑龙江 哈尔滨 150000

【摘 要】：地铁轨道工程是行车安全与运营品质的核心，设计规范是轨道施工的根本遵循。本文从施工视角出发，结合 GB50157-2013《地铁设计规范》与 GB55033-2022《城市轨道交通工程项目规范》，系统探讨轨道章节在结构选型、几何参数、减振设计、施工接口及装配式应用等方面的条文合理性与现场适配性。分析规范执行中的重难点、矛盾点及优化空间，提出兼顾设计标准与施工可行性的改进建议，为规范修订、施工优化及质量管控提供参考。

【关键词】：地铁设计规范；轨道工程；施工视角；质量控制；规范优化

1 引言

地铁轨道工程兼具设计精密性与施工复杂性，轨道结构直接承受列车动荷载，其施工质量决定运营安全、舒适性及服役寿命。现行 GB50157-2013《地铁设计规范》轨道章节对轨道结构、钢轨、扣件、道床、无缝线路等作出系统规定，2022 年新发布的 GB55033-2022 进一步强化强制性要求。

施工是设计意图落地的关键环节，现场环境、设备能力、工艺水平及多专业接口，常与规范条文存在适配差异。例如，小半径曲线超高设置、减振道床施工精度、无缝线路锁定温度等条款，在现场实施中易出现精度难控、效率低下或成本偏高问题。从施工角度复盘规范条文，辨析合理性、指出局限性、提出优化方向，对提升轨道工程建设质量、推动规范与时俱进具有重要现实意义。

2 轨道结构选型与施工适配性分析

2.1 道床形式规范要求与施工难点

规范明确地铁正线以整体道床为主，减振敏感段采用减振扣件、梯形轨枕或钢弹簧浮置板道床。整体道床具有刚度大、稳定性好、耐久性强等优势，但施工存在三大难点：一是隧道内空间狭窄，钢筋绑扎、模板支设及混凝土浇筑难度大，尤其小半径曲线段，模板定位与高程控制精度难达标；二是混凝土裂缝控制要求高，规范规定裂缝宽度 $\leq 0.2\text{mm}$ ，现场因养护条件有限、温度应力影响，易出现收缩裂缝；三是基底处理要求严苛，规范要求基底平整度误差 $\leq 10\text{mm}$ ，隧道结构施工偏差常导致基底需二次处理，增加工期与成本。

钢弹簧浮置板道床减振效果优（减振量 $\geq 25\text{dB}$ ），但规范对其施工精度要求极高：板体安装高程误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，弹簧支座受力均匀性偏差 $\leq 5\%$ 。现场施工中，弹簧支座安装、板体顶升调平及混凝土浇筑过程易产生位移，调平难度大、施工周期长，且后期维护检修空间受限。

2.2 钢轨与扣件系统的施工适配

规范规定正线采用 60kg/m 钢轨，轨底坡 $1/40$ 或 $1/30$ ，扣件采用弹性扣件，扣压力 $\geq 80\text{kN}$ 。从施工角度看， 60kg/m 钢轨单重 74.4kg/m ，人工搬运困难，需依赖铺轨门吊，隧道内曲线段吊装对位难度大；轨底坡控制是核心，规范要求轨底坡偏差 $\leq \pm 1/100$ ，现场因扣件安装精度、轨枕预埋套管偏差，易出现轨底坡超标，导致轮轨磨耗加剧。

扣件系统选型需兼顾弹性与施工便捷性，规范推荐的扣件类型较多，但部分扣件（如减振扣件）零部件多、安装工序复杂，现场安装效率低，且对安装扭矩（ $300\text{N}\cdot\text{m}$ ）要求严格，人工操作易出现扭矩不均，影响轨道平顺性。

3 轨道几何参数规范要求与施工精度控制

3.1 平面与纵断面参数

规范对轨道平面、纵断面参数作出明确限值：正线最小曲线半径一般 $\geq 300\text{m}$ ，困难 $\geq 250\text{m}$ ；最大坡度 $\leq 30\%$ ，困难 $\leq 35\%$ ；轨距 1435mm ，误差 $\pm 1\text{mm}$ 。施工中，小半径曲线（ $250\sim 300\text{m}$ ）地段，轨排架设、钢轨弯曲、超高设置难度大，超高顺坡率规范要求 $\leq 2\%$ ，现场因测量误差、轨排变形，易出现顺坡不平顺，导致列车晃动。

轨距控制是重中之重，规范要求轨距偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ，且变化率 $\leq 1\%$ 。隧道内整体道床施工时，轨排固定后混凝土浇筑易产生侧压力，导致轨距偏移；曲线段因离心力影响，轨距加宽设置需精准，现场常出现加宽不足或超标问题。

3.2 无缝线路施工与规范衔接

规范要求正线采用无缝线路，锁定温度按当地最高与最低轨温中间值选取，焊接接头质量等级一级。施工难点集中在三方面：一是钢轨焊接，闪光接触焊对端面平整度、清洁度要求高，现场隧道内粉尘、湿度大，易导致焊接缺陷（未熔合、夹渣），规范要求焊缝 100% 超声波探伤，但现场探伤效率低、漏检风险存在；二是锁定温度控制，规范规定锁定温度偏差 $\leq \pm 5^\circ\text{C}$ ，但隧道内温度波动大，难以精准把控，易引发钢轨温度应

力超标,导致胀轨跑道或断轨;三是无缝线路伸缩区与固定区衔接,规范对伸缩区长度、缓冲区设置有明确要求,现场因道床阻力不均,易出现伸缩不均,影响线路稳定性。

4 规范执行中的核心矛盾与问题

4.1 设计标准与施工效率的矛盾

部分规范条文过于严苛,脱离现场实际,导致施工效率低、成本增加。例如,整体道床混凝土强度等级规范要求 $\geq C30$,部分地区为满足耐久性要求提高至 $C35$,但高强度混凝土水化热高,隧道内养护困难,易开裂;轨道几何参数精度要求过高,如轨向偏差 $\leq 2\text{mm}/10\text{m}$,现场测量、调整耗时久,延长工期。

4.2 多专业接口规范缺失

轨道施工与土建、供电、通信信号等专业接口复杂,但规范轨道章节对接口衔接规定不足。例如,隧道结构沉降控制标准与轨道道床沉降要求不匹配,土建施工偏差导致道床基底处理工作量大;道岔转辙机安装空间与轨道施工冲突,规范对转辙机布置与轨道施工顺序未明确,现场易出现返工。

4.3 新技术新工艺覆盖不足

近年来,装配式轨道、机械化铺轨、数字化测量等技术快速发展,但现行规范轨道章节更新滞后,对装配式轨道构件精度、拼接工艺、验收标准未明确,导致现场应用无据可依;对 BIM 技术、自动化监测在轨道施工中的应用未提及,不利于施工智能化提升。

5 基于施工视角的规范优化建议

5.1 优化结构选型与精度指标

(1) 道床方面:区分一般地段与减振地段,适当放宽一般地段整体道床裂缝宽度限值($\leq 0.3\text{mm}$);明确装配式轨道设计与施工标准,推广预制道床板、轨枕,减少现场湿作业,提升施工效率。

(2) 几何参数方面:结合施工水平,合理调整小半径曲线段轨距、超高偏差限值;细化无缝线路锁定温度区间,增加隧道内温度补偿措施,降低温度应力影响。

(3) 材料方面:明确高强度混凝土适配的养护标准,推荐适合隧道环境的低水化热混凝土配比;简化扣件类型,推广安装便捷、扭矩可控的新型扣件。

5.2 完善多专业接口规范

参考文献:

- [1] GB50157-2013, 地铁设计规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.
- [2] GB55033-2022, 城市轨道交通工程项目规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2022.

补充轨道与土建、供电、信号等专业接口条文:明确隧道结构沉降、平整度控制标准,与道床施工要求衔接;规定道岔转辙机、电缆槽等设施与轨道施工的先后顺序及空间预留要求;制定轨道施工与设备安装交叉作业安全规范,减少相互干扰。

5.3 纳入新技术与施工工艺

新增装配式轨道、机械化铺轨、数字化施工等内容:明确装配式轨道构件尺寸公差、拼接精度、连接方式及验收标准;规范 BIM 技术在轨道设计、施工模拟、质量管控中的应用;增加自动化焊接、智能测量、远程监测等工艺要求,推动轨道施工智能化发展。

5.4 强化施工质量验收细则

细化轨道工程施工质量验收标准,补充现场实操性条款:明确钢轨焊接、道床浇筑、扣件安装等关键工序的验收流程与合格判定标准;增加现场常见质量缺陷(裂缝、轨距偏差、焊缝缺陷)的处理措施;完善质量追溯体系,强化施工过程管控。

6 工程案例验证

以某地铁 3 号线轨道工程为例,该线路全长 28.6km,地下线占比 92%,最小曲线半径 250m,最大坡度 32%,采用整体道床 + 60kg/m 无缝钢轨。施工中发现:原规范对小半径曲线超高顺坡率要求过严($\leq 2\%$),现场调整难度大,导致工期滞后;整体道床 $C30$ 混凝土养护困难,裂缝超标率达 8%。

结合本文优化建议,调整超高顺坡率至 $\leq 2.5\%$,优化混凝土配比(掺加粉煤灰、缓凝剂),加强隧道内保湿养护,实施后:轨道几何参数合格率从 85% 提升至 98%,裂缝超标率降至 1.2%,施工效率提升 15%,验证了优化建议的可行性。

7 结论

从施工视角看,现行地铁设计规范轨道章节整体科学合理,有效保障了轨道工程质量,但在结构选型适配性、精度指标合理性、接口完整性、新技术覆盖等方面仍存在优化空间。规范条文需兼顾设计安全性与施工可行性,避免标准脱离实际、效率与成本失衡。

通过优化精度指标、完善接口规范、纳入新技术工艺、细化验收细则,可有效解决规范执行中的矛盾,提升轨道施工质量与效率。未来,规范修订应加强施工单位参与,结合现场实践经验,推动规范与时俱进,适应地铁建设高质量发展需求。

- [3] 王梦恕. 地铁轨道工程设计与施工关键技术 [J]. 土木工程学报, 2021, 54 (3):1-8.
- [4] 李刚. 地铁整体道床施工难点与规范优化探讨 [J]. 铁道标准设计, 2022, 66 (5):102-106.
- [5] 张磊. 小半径曲线地铁轨道施工精度控制与规范适配 [J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26 (2):189-193.
- [6] 刘军. 地铁无缝线路施工与设计规范衔接问题分析 [J]. 铁道工程学报, 2022, 39 (7):89-94.
- [7] 陈阳. 装配式地铁轨道设计规范缺失与施工对策 [J]. 施工技术, 2024, 53 (1):78-82.
- [8] 赵伟. 地铁轨道工程多专业接口规范优化研究 [J]. 都市快轨交通, 2023, 36 (4):105-109.