

城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通土建工程

赵惠祥

谭复兴 编著

叶霞飞



中国铁道出版社

U239.5/001

城市轨道交通系列丛书

城市轨道交通土建工程

赵惠祥

谭复兴 编著

叶霞飞

中国铁道出版社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书论述了城市轨道交通工程中有关轨道结构工程、轨道交通的线路设计、地下铁道结构的设计与施工、高架铁道结构的设计与施工以及轨道交通工程的环境评价等方面的内容。

读者对象:从事城市轨道交通工程的工程技术人员、建设管理人员以及相关专业的大学、研究生。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通土建工程/赵惠祥编著. —北京:中国铁道出版社, 2000. 6

ISBN 7-113-03719-4

I. 城… I. 赵… II. ①城市铁路-铁路线路-设计②城市铁路-铁路线路-工程施工 IV. U239. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 20210 号

城市轨道交通系列丛书
书 名: 城市轨道交通土建工程

作 者: 赵惠祥、谭复兴、叶霞飞

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 傅立彦

责任编辑: 傅立彦

封面设计: 陈东山

印 刷: 北京市燕山印刷厂

开 本: 850×1168 1/32 印张: 8.25 字数: 215 千

版 本: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000 册

书 号: ISBN 7-113-03719-4/U·1027

定 价: 17.80 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社发行部调换。

城市轨道交通系列丛书

主编：孙 章

何宗华

Thomas Brodocz

Walter Christ

序

世界上轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现。随着科学技术和城市化的发展，大运量的轨道交通在现代大城市中越来越起着重要的作用。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们，只有采用大客运量的地铁和轻轨交通系统，才是从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。

我国发展大运量轨道交通的历史也并不短，40年前北京就开始了地铁建设。想建地铁的城市也不少，但一直因造价太贵而却步。至今一些百万人口以上的大城市，仍然用传统的公共汽车和无轨电车来维持客运的做法，已越来越不能满足城市居民高频率出行的需要。因而目前很多大城市又在考虑和策划修建轨道交通项目。除北京外，上海和广州都已经在建造现代化的地铁系统。北京、上海、天津、广州四城市虽已有地铁线路在运营，但远远不能较为普遍地满足需要。由于我国城市轨道交通的应用技术和基础理论都还处于开拓阶段，项目实施的大多数情况是要引进技术和设备，国产化率低，成为工程造价昂贵的主要原因。因而提高我国城市轨道交通行业的技术力量，发挥自主建设能力，努力降低工程造价，已是健康发展大运量轨道交通的关键。

为此，我们组织了建设部和铁道部的有关专家，编写了这套《城市轨道交通系列丛书》，同时还与德国西门子股份公司交通技术集团进行合作，吸收了一些实用而先进的技术成果，分别按不同专业内容纳入这套丛书。

这套系列丛书以普及现代城市轨道交通基础理论、知识为目标，较为全面系统地阐述了城市轨道交通的发展历史和先进的技术成果，同时也论述了不同类型轨道交通的系统特征、通用技术的适应范围、专业技术及其综合效应等。这套丛书可作为管理人

员、技术人员和大专院校学生的基础理论知识读本，也可作为本行业专家学者在此基础上深化研究和促进技术发展的参考资料。

周干峙

1998 年

* 周干峙 中国科学院院士、工程院院士、建设部顾问、原建设部副部长。

前 言

《城市轨道交通系列丛书》是一套系统介绍城市轨道交通知识的丛书，而其中《城市轨道交通土建工程》一书，则是根据城市轨道交通的“基础设施”——土木建筑工程的内容而编写的。城市轨道交通的“基础设施”建设所涉及的土木建筑工程领域，包括了轨道结构工程、轨道交通的线路设计、地下铁道结构的设计与施工、高架铁道结构的设计与施工及轨道交通工程的环境评价等方面的知识。

随着我国城市轨道交通需求的迅速发展，越来越多的工程技术人员、建设管理人员、相关专业的大学生、研究生迫切希望有一本能较为系统地、综合地、全面地介绍与城市轨道交通相关的土木建筑工程方面的参考书，本书的写作动机即在于此。

本书作为《城市轨道交通系列丛书》之一，在编写过程中，结合了国内外有关城市轨道交通土建工程的最新进展，对城市轨道交通基础设施建设涉及的轨道结构、线路标准、地下工程及高架工程等进行了系统的阐述。全书共分5章：第一章系统地介绍了钢轨、轨枕、道床、道岔等组成轨道结构的设备；以及为保证车辆安全、快捷、平稳地运行，轨道结构必须保持的几何线形；本章同时还对城市轨道交通中普遍采用的无缝线路作了简要的介绍。第二章是选线设计的基本知识，在城市中选定轨道交通线路走向应该考虑的问题，以及在城市中建设轨道交通线路所必须遵循的设计标准。第三章介绍了设计地下铁道车站所涉及的专业门类，设计中必须考虑的问题，以及在城市地下修建车站和区间隧道施工中所经常遇见的问题。第四章则介绍了城市高架轨道交通的上建结构，高架桥梁、立柱的设计与施工。第五章讨论了城市轨道交通带来的振动、噪声污染以及可以采取的对策。

本书是在作者多年从事城市轨道交通土建结构和施工的教学、研究及实践基础上撰写的。本书的编著人员分工如下：第一章由谭复兴教授撰稿；第二章、第五章由叶霞飞副教授与赵惠祥副教授撰稿；第三章由丁春林硕士与周顺华教授撰稿；第四章由胡框章教授撰稿。全书经赵惠祥副教授、谭复兴教授及叶霞飞副教授编辑审阅定稿。

限于作者水平和时间紧迫，本书疏漏和错误之处在所难免，敬请读者能将意见反馈回来，以便今后修订和完善。书中引用了国内外有关城市轨道交通专家、学者的研究成果，并获得他们热情的指导，在此一并表示衷心的感谢。

作 者
1999 年

目 录

第一章 轨道结构工程	1
第一节 轨道结构设备.....	2
第二节 独轨铁路的轨道结构	41
第三节 轨道结构的几何形位	46
第四节 无缝线路	71
第二章 轨道交通线路设计	82
第一节 线路走向选择及车站分布	84
第二节 线路平纵断面设计	93
第三章 地下铁道结构与施工	120
第一节 地下铁道车站设计.....	120
第二节 地下铁道车站施工.....	142
第三节 区间隧道结构与构造.....	168
第四节 区间隧道施工.....	177
第四章 高架铁道结构与施工	202
第一节 概 述.....	202
第二节 区间高架桥结构设计与施工.....	209
第三节 高架车站设计.....	227
第五章 轨道交通工程环境评价	236
第一节 各种城市交通方式的资源环境指标比较.....	236
第二节 城市轨道交通振动与噪声.....	239
第三节 城市高架轨道交通电磁辐射.....	248
参考文献	251

第一章 轨道结构工程

世界上第一条铁路诞生于 19 世纪初。1825 年英国在达林顿 (Darlington) 到斯托克顿 (Stockton) 间修建了第一条公用铁路, 迄今已有 174 年历史。当时的牵引动力为蒸汽机车, 而轨道结构和现代的已很相仿。

轨道是由钢轨、轨枕、连接零件、道床、道岔和其他附属设备等组成的构筑物。组成轨道部件材料的力学性质差异极大, 通过科学而可靠的方式把它们组合在一起, 用以导向列车的运行、承受高速行驶列车的荷载并把荷载传递给支撑轨道结构的基础。

城市轨道交通的轨道结构由于线路一般穿过居民区(地下、地面或高架), 还要另外考虑以下一些问题:

(1) 为保护城市环境, 对噪声控制要求较高, 除了车辆结构采取减振措施, 必要时修筑声屏障外, 轨道结构也要采取减振措施。

(2) 轨道交通行车密度大, 运营时间长, 留给轨道维修作业的时间很短, 因而一般采用较强的轨道部件。新建轨道交通系统时, 对浅埋隧道和高架结构, 一般采用无碴道床等少维修轨道结构。

(3) 轨道交通车辆一般采用电力牵引, 以走行轨作为供电回路。为减小因漏泄电流(或称迷流)而造成周围金属设施的腐蚀, 要求钢轨与轨下基础有较高的绝缘性能。

(4) 受原有街道和建筑物所限, 城市轨道交通曲线区段占很大比重, 曲线半径一般比常规铁路小得多。曲线最小半径一般在 100 m 左右, 有的为 50 m 甚至更小。在小半径曲线地段, 应采用耐磨钢轨。钢轨铺设前应进行预弯, 运营时钢轨应进行涂油以减

少磨耗。

城市轨道交通的轨道结构工程主要包括轨道结构的基本设备、轨道交通线路的几何形位及无缝线路等内容。

第一节 轨道结构设备

一、钢 轨

钢轨的类型习惯上以每米大致质量数来表示。目前我国铁路的钢轨类型主要有 43、50、60、75 kg/m 等型式。质量愈大，表示断面强度等性能指标愈高。在我国城市轨道交通的线路中，早期的北京地铁使用了 50 kg/m 钢轨，90 年代新建的上海、广州地铁都采用了较重的 60 kg/m 钢轨，以期延长维修周期。轨道交通的停车线、站场线等非运营线路则采用较轻的 50 kg/m 钢轨，甚至可以采用 43 kg/m 的钢轨。

我国生产的钢轨长度，一般有 12.5 m 和 25 m 两种。

1. 钢轨的功能

钢轨与轨道交通车辆的车轮直接接触，是轨道结构的主要部件。它具有以下几个方面的功能：

(1) 钢轨必须为车轮提供连续、平顺和阻力最小的滚动表面，以引导轨道交通车辆前进。对车辆来说，要求钢轨有一个光滑的滚动表面，以获得较小的滚动阻力，但对动车来说，则要求钢轨顶面粗糙，使车轮与钢轨之间产生足够的摩擦力来牵引列车前进。为了解决这一矛盾，钢轨在维持光滑表面的同时，必要时可用向轨面撒沙的方法提高动车动轮与钢轨之间的粘着力。

(2) 钢轨的工作条件十分复杂。它承受来自车轮的垂直、横向水平和纵向水平等力，此外还要受到温度变化及其他因素的影响，因而使钢轨产生了拉、压、弯曲应力，接触应力和局部应力等等，并产生相应的压缩、伸长、弯曲、扭转、压溃、磨耗等的变形，为此钢轨要有足够的强度和韧性来承受弯曲和接触等应力，

要有足够的刚度来抵抗弯曲和扭转等变形，要有足够的硬度来抵抗磨损。此外，为了减轻车辆对钢轨的动力冲击作用，防止轨道交通车辆走行部分及钢轨的磨损，要求钢轨具有必要的弹性。所以硬度与韧性及刚度与弹性之间是矛盾的，必须加以正确的处理。

(3) 此外钢轨还要兼供轨道电路之用。

2. 钢轨的断面

钢轨断面的形状应符合力学的要求，并适应车轮轮踏面形状，以改善轮轨的接触条件，还要考虑安装接头夹板和减少断面形状发生突变处的局部应力等要求。

通常可以把钢轨视为弹性地基上的连续梁，作用于其上的力主要为垂直力，其结果是使钢轨挠曲，而抵抗挠曲的最佳断面为工字型，所以从铁路诞生之日起，钢轨就由轨头、轨腰和轨底 3 部分组成，其基本断面形状就是工字型。我国的钢轨标准断面如图 1-1 所示，其余部分的尺寸及特征见表 1-1。图 1-2 是香港有轨电车的钢轨。

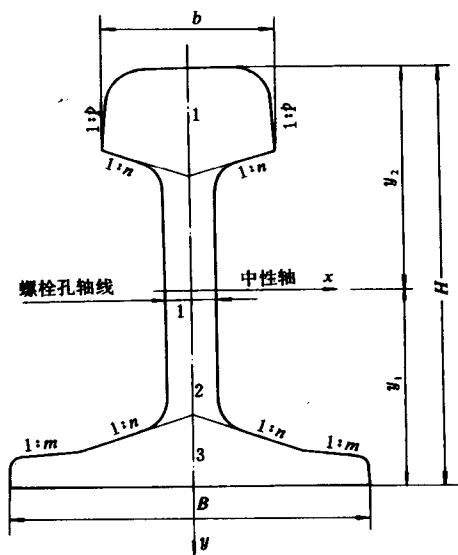


图 1-1 钢轨断面

准断面如图 1-1 所示，其余部分的尺寸及特征见表 1-1。图 1-2 是香港有轨电车的钢轨。

3. 钢轨材质及机械性能

钢轨的材质是指钢轨的化学成分及其组织。它们是钢轨质量的第一个特征。严格控制钢轨钢的化学成分及其组织是保证钢轨

质量的主要途径之一。

表 1-1 钢轨断面尺寸及特性

项 目	类 型 /(kg/m)		
	60	50	43
每米质量 m/kg	60.64	51.514	44.653
断面面积 F/cm^2	77.45	65.8	57
重心距轨底面的距离 y_1/mm	81	71	69
对水平轴的惯性矩 J_x/cm^4	3 217	2 037	1 489
对竖直轴的惯性矩 J_y/cm^4	524	377	260
底部断面系数 W_1/cm^3	396	287	217
头部断面系数 W_2/cm^3	339	251	208
轨底横向挠曲断面系数 W_y/cm^3	70	57	46
轨头所占面积 $A_h/(\%)$	37.47	38.68	42.83
轨腰所占面积 $A_w/(\%)$	25.29	23.77	21.31
轨底所占面积 $A_b/(\%)$	37.24	37.55	35.86
钢轨高度 H/mm	176	152	140
轨底宽度 B/mm	150	132	111
轨头高度 h/mm	48.5	42	42
轨头宽度 b/mm	73	70	70
轨腰厚度 t/mm	16.5	15.5	14.5

钢轨钢中含有铁(Fe)、碳(C)、锰(Mn)、硅(Si)、磷(P)、硫(S)等元素。其中Fe是主要成分,其次是碳,含量虽小,但对钢的性能影响极大。碳是钢轨抗拉强度和硬度主要来源,一般含量为0.65%,当含量增加,其抗拉强度和硬度迅速增加,脆性也随之增加。锰可以提高钢的强度和韧性,含量超过1.2%者称中锰钢,其硬度更大,抗磨性能很高,目前我国使用的道岔,辙岔部分都是采用了锰含量较高的钢种。

机械性能是钢轨质量的第二特征。它包括强度极限 σ_b 、屈服极限 σ_s 、疲劳极限 σ_r 、伸长率(或称延伸率) δ 、断面收缩率 ψ 、冲击韧

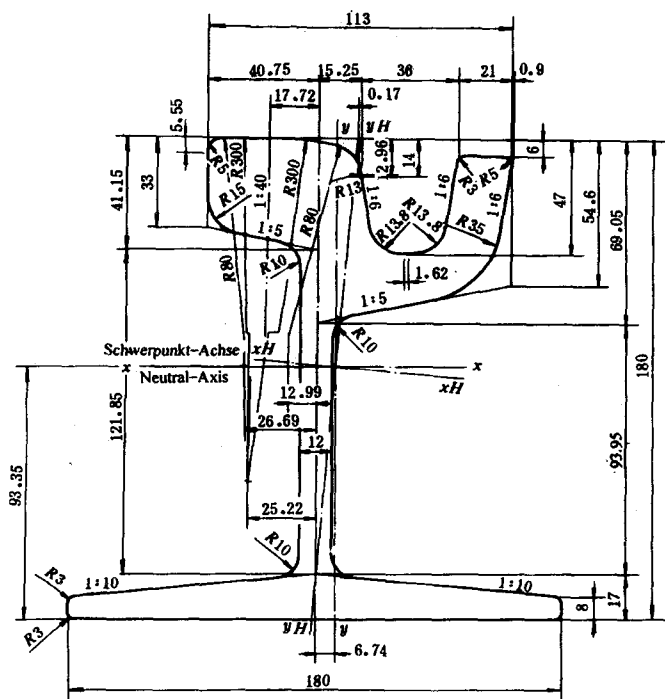


图 1-2 香港有轨电车钢轨

性(落锤试验) σ_k 及硬度等指标。这些指标对钢轨的承载能力、磨损、压溃、断裂和其他伤损有很大的影响。我国钢轨材质的化学成分、钢轨的机械性能见表 1-2。

采用热处理方法可使普通碳素钢轨的强度和韧性都得到大幅度的提高。铺设无缝线路曲线地段宜采用全长淬火热钢轨,即用普通碳素钢,通过轨顶面全长感应淬火热处理法,以局部改进轨头部分钢的组织,从而提高强度和韧性。淬火要求达到以下的指标:抗拉强度 $\sigma_b \geq 1176 \text{ MPa}$;屈服强度 $\sigma_s \geq 802 \text{ MPa}$;延伸率 $\delta_s \geq 12\%$;断面收缩率 $\Psi \geq 33\%$;顶面淬火深度 $h \geq 15 \text{ mm}$;侧面淬火深度 $b > 10 \text{ mm}$ 。

表 1-2 钢轨的化学成分、机械性能及使用范围

序号	钢 号	化 学 成 分/(%)						抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 δ_5 /(%)	使用范围 (钢轨类型)
		C	Si	Mn	Cu	P	S			
1	U71	0.64~0.77	0.13~0.28	0.60~0.90		≤0.04	≤0.05	785	10	50
2	U74	0.67~0.80	0.13~0.28	0.70~1.00		≤0.04	≤0.05	785	9	50, 60, 75
3	U71Cu	0.65~0.77	0.15~0.30	0.70~1.00	0.10~0.40	≤0.04	≤0.05	785	9	50
4	U71Mn	0.65~0.77	0.15~0.35	1.10~1.50		≤0.04	≤0.04	883	8	50, 60, 75
5	U71MnSi	0.65~0.75	0.85~1.15	0.85~1.15		≤0.04	≤0.04	883	8	小半径曲线 50
6	U71MnSiCu	0.65~0.77	0.70~1.10	0.80~1.20	0.10~0.40	≤0.04	≤0.04	883	8	50

注：表内钢号 U 表示钢轨的符号，71、74 表示钢轨含碳量分别为 0.71% 和 0.74%，Cu、Mn、Si 表示合金钢轨的成分。序号 1、2 为普通碳素钢，3~6 为低合金钢，U71Mn 为中锰钢，U71MnSi 为高锰钢，其耐磨性能为碳素钢的 2~4 倍。

4. 钢轨接头

轨道上通常用定长钢轨连接成连续的轨线。在两根定长钢轨之间，用夹板连接，这种夹板称为钢轨接头。在城市轨道交通的轨道交通结构中，已大量采用无缝线路结构，钢轨接头数量大大减少，但是在无缝线路的缓冲区、轨道电路的绝缘区、有道岔的线路区段中，钢轨接头还是不能少的。钢轨接头的联结零件包括夹板、螺栓、螺母、弹簧垫圈等。

(1) 接头夹板

夹板的作用是夹紧钢轨。夹板以双头对称式（对称度在10%以内）为最常用。图1-3为我国目前标准钢轨用的斜坡支承型双头对称式夹板。这种夹板的优点在竖直荷载作用下，具有较大的抵抗弯曲和横向位移的能力。夹板上下两面的斜坡，能楔入轨腰空间，但不贴住轨腰。这样，当夹板稍有磨耗，以致联结松弛时，仍可重新旋紧螺栓，保持接头联结的牢固。每

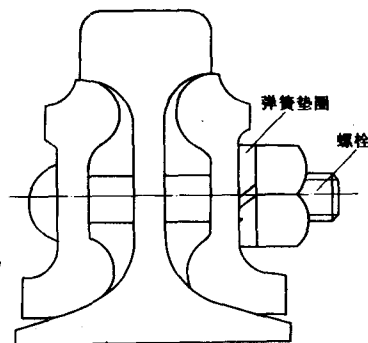


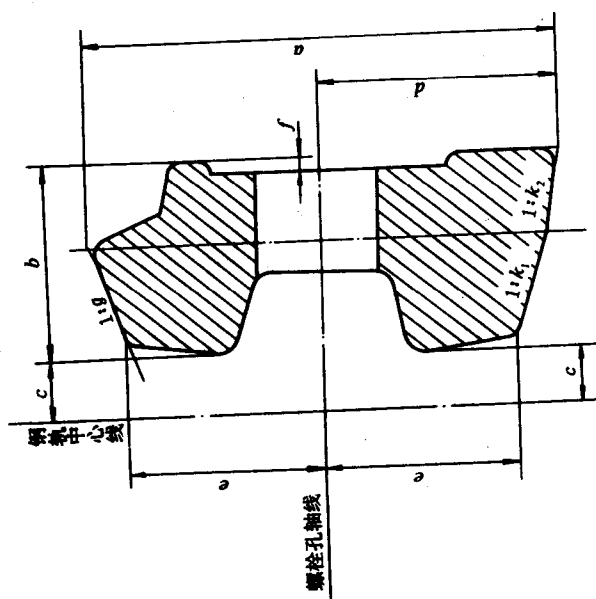
图1-3 斜坡支承型双头对称式夹板

根夹板上有6个螺栓孔，圆形与长圆形孔相间布置，圆形螺栓孔的直径，较螺栓直径略大，长圆形螺栓孔的长径较螺栓头下突出部分的长径略大。依靠钢轨圆形螺栓孔直径与螺栓直径之差，以及夹板圆形螺栓孔直径与螺栓直径之差，就可以得到所需要预留的轨缝（图1-4所示）。

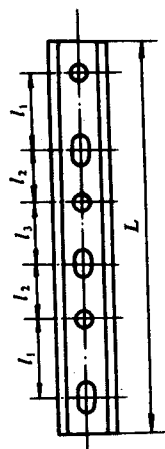
(2) 接头螺栓、螺母及垫圈

接头螺栓与螺母用来夹紧钢轨。螺栓需要有一定的直径，螺栓直径愈大，紧固力愈强。但加大螺栓直径势必加大钢轨及夹板上的螺栓孔直径，这将削弱轨端与夹板的强度，因此宜用高强度

横断面



侧面图



螺栓孔

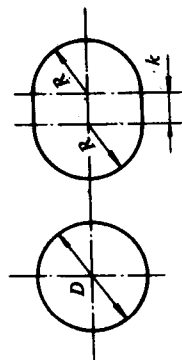


图 1-4 钢轨夹板的形状与尺寸