

文章编号: 1674—8247(2024)06—0117—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.06.019

大规模铁路路基横断面边坡措施设计方法

刘 龙 白青波 李 艳 张凤维

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

摘 要:针对大规模铁路路基横断面边坡措施设计场景,提出了边坡措施组合的概念,将不同边坡措施由路肩至坡脚/堑顶串联为一个边坡措施组合,并设置其匹配条件。通过与各横断面左、右侧的路基类型、路基高度、措施类型等条件的匹配,从边坡措施组合数据库后返回条件吻合的边坡措施组合,完成相关设计。该方法具有设计效率高、通用性强等优点,已在包银、沈白、潍烟、集大原等多条铁路中得到应用,助力铁路路基横断面边坡设计向数字化、智能化转型。该方法不限于铁路领域,也可对市政道路、公路等领域的路基边坡设计方法升级提供借鉴。

关键词:铁路路基;横断面;边坡措施组合;数据库

中图分类号:U213.1

文献标志码:A

Methodology for Designing Slope Measures in Cross Sections of Large-scale Railway Subgrade

LIU Long BAI Qingbo LI Yan ZHANG Fengwei

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract: To design slope measures for cross-sections of large-scale railway subgrade, this study introduced the concept of a slope measure combination, which connects diverse slope management strategies from the shoulder to the slope toe or top of the cutting, accompanied by the establishment of matching criteria. By aligning these combinations with conditions such as the subgrade type, subgrade height, and measure types on the left and right sides of each cross-section, the methodology retrieved from a database of slope measure combinations those that satisfy the given conditions, thereby completing the relevant design. This approach boasts advantages such as high design efficiency and broad applicability, having been successfully implemented in multiple railway projects, including Baotou-Yinchuan High-speed Railway, Shenyang-Baihe High-speed Railway, Weifang-Yantai High-speed Railway, and Ulanqab-Datong-Yuanping High-speed Railway, facilitating the digital and intelligent transformation of designing slope measures in cross sections of railway subgrade. Not confined to the railway sector, this method also offers valuable insights for upgrading slope design approaches in subgrades of municipal roads and highways.

Key words: railway subgrade; cross-sectional; slope measure combination; database

路基横断面边坡措施的设计是铁路路基横断面设计的重中之重^[1-6],目前大规模铁路路基横断面边坡

收稿日期:2023-05-26

作者简介:刘龙(1989-),男,高级工程师。

基金项目:中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(2021B240625)

引文格式:刘龙,白青波,李艳,等.大规模铁路路基横断面边坡措施设计方法[J].高速铁路技术,2024,15(6):117-121.

LIU Long,BAI Qingbo,LI Yan,et al. Methodology for Designing Slope Measures in Cross Sections of Large-scale Railway Subgrade[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(6):117-121.

措施的设计流程为:①根据线路平纵断面、路基面帽子计算路基左右侧路肩高程;②由路基左右侧路肩高程和横断面地面线计算路基高度,确定路堤或路堑的路基类型;③对各断面自左右侧路肩至坡脚/堑顶开始路基横断面边坡措施设计,设计内容根据路基工点实际情况可包括仅放坡、放坡+支挡、侧沟+放坡、侧沟+支挡+放坡等边坡措施组合中的任一种。该设计流程存在3点不足:(1)每个断面左右侧的边坡措施均为单独设计,设计效率不高,重复工作量大;(2)设计调整手段不够灵活,边坡措施参数修改繁琐;(3)不同项目间同类措施参数利用率低。

王卫东^[7]等对铁路一般路基横断面设计数据进行分析和分类,建立了一般路基横断面数据库,应用自定义实体技术和面向对象的编程技术实现了一般路基横断面边坡设计;唐伟其^[8]采用自定义实体技术定制横断面实体对象,使横断面实体具有 AutoCAD 实体的属性和操作方式,在此基础上利用数据和图形的联动实现横断面交互设计;孙洪德^[9]等通过对 CARD/1 程序二次开发拓展了该程序在路基横断面设计方面的功能;陈豪^[10]提出了一种将路基横断面数据编码为嵌套层次 JSON 半结构化数据的方法,并采用非关系数据库 MongoDB 进行管理,较传统关系数据库更为灵活、简单,可对各种繁杂多变的工程数据进行统一处理。总体而言,这些研究成果更偏重于路基工点逐个交互式设计,面对大规模铁路路基横断面边坡措施设计时设计效率有待提高。基于此,本文提出了边坡措施组合的概念,将不同边坡措施由路肩至坡脚/堑顶串联为一个边坡措施组合,并设置其匹配条件。以流程①、流程②得到的边界条件作为边坡措施组合的设计匹配依据,查找边坡措施组合数据库后返回条件吻合的边坡措施组合,以此作为路基横断面设计结果,是对大规模铁路路基横断面边坡措施设计模式的改进。

1 边坡措施组合

根据工点实际情况,铁路路基边坡措施有常规放坡、侧沟、重力式挡土墙、桩板墙、悬臂墙、扶壁墙、盲沟、浸水防护、脚墙、土钉墙、加筋挡土墙等多种形式。然而,无论路基边坡采用何种措施,均可被归纳为自路肩至坡脚/堑顶的由一个或多个边坡措施串联而成的边坡措施组合。路基左侧边坡措施组合为路堤边坡1+桩板墙,路基右侧边坡措施组合为路堤边坡1+重力式挡土墙,如图1所示。路基左侧边坡措施组合为侧沟+重力式挡土墙+路堑边坡1,路基右侧边坡措施组合为侧沟+桩板墙+路堑边坡1+路堑边坡2,如图2所示。

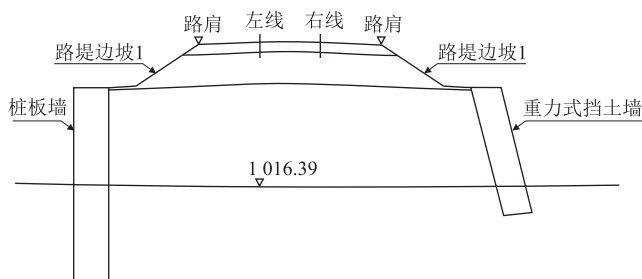


图1 典型路堤示例图(m)

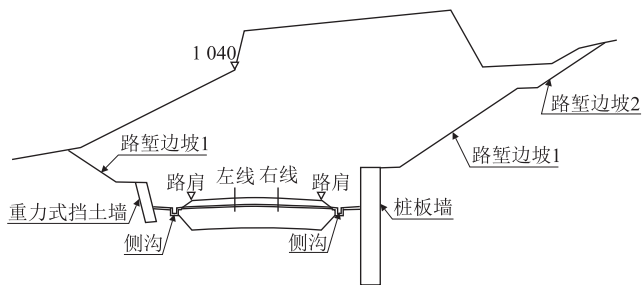


图2 典型路堑示例图(m)

为实现边坡措施组合的概念,分别建立边坡措施数据库和边坡措施组合数据库。首先边坡措施数据库具体可细分为路基边坡、侧沟、重力式挡土墙、桩板墙、悬臂墙、扶壁墙、盲沟、浸水防护、脚墙、土钉墙、加筋挡土墙等数据库,这些数据库用于对该类边坡措施进行数据储存和管理,边坡措施数据库中的每条措施设置有用于是绘图的属性信息,所述属性信息包括该条措施的类型名称、尺寸参数、绘图控制点、附加条件等。

最后建立边坡措施组合数据库,数据库中各边坡措施组合由路基边坡、侧沟、重力式挡土墙、桩板墙、扶壁墙、悬臂墙、盲沟、浸水防护、脚墙、土钉墙、加筋挡土墙中的任意一种或几种边坡措施按从路肩到堑顶的顺序组成。每个边坡措施组合都被赋予了适用条件,用于横断面边坡措施的快速匹配,适用条件包括里程范围及方向、路基类型、措施类型、路基高度集合等。所述里程范围及方向指由一个起始里程与一个终止里程确定的一段里程范围以及该段里程范围适用的路基方向,路基方向包括左侧、右侧、两侧,该匹配条件多用于地表形态单一或设计精度不高的设计阶段;所述路基类型包括路堑和路堤;所述措施类型包括无措施、重力式挡土墙、桩板墙、扶壁墙、悬臂墙、浸水防护、脚墙、土钉墙和加筋挡土墙;所述路基高度集合指路肩至同侧堑顶的竖直距离的集合。边坡措施组合数据库的实现思路如图3所示。

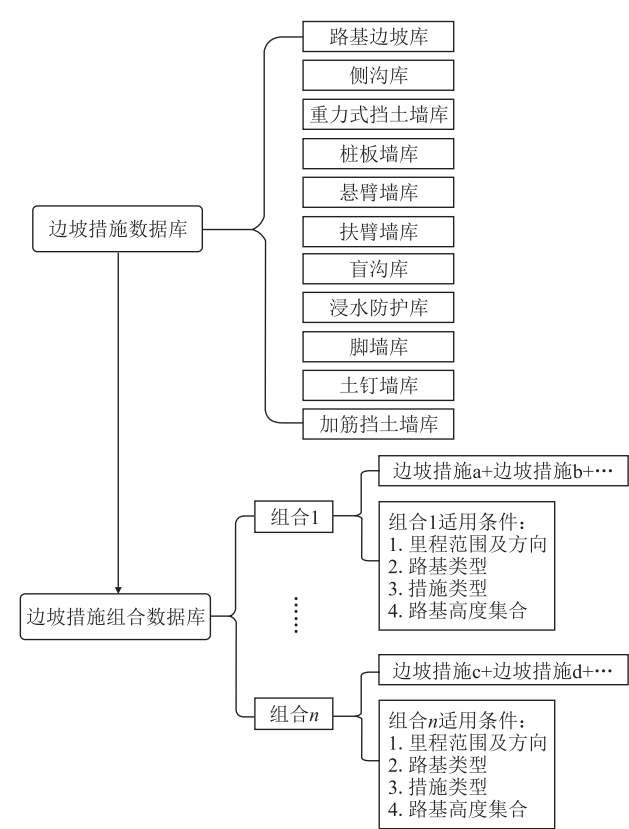


图3 边坡措施组合数据库实现思路图

2 大规模铁路路基横断面边坡措施设计方法

针对大规模铁路路基横断面边坡措施设计场景,提出了一种快速、高效的设计方法,具体为:

- 步骤 A 建立边坡措施数据库。
- 步骤 B 建立边坡措施组合数据库。
- 步骤 C 求解各横断面左、右侧的路基类型与路基高度,指定措施类型。
- 步骤 D 将求解条件与边坡措施组合数据库中的适应条件逐条匹配,完成设计。

步骤 D 对所有横断面左、右侧逐个进行边坡措施组合匹配,按以下步骤进行:

步骤 D1 遍历所有边坡措施组合的里程范围及方向,判断:如果当前断面里程属于某个边坡措施组合的里程范围,且当前断面方向与该里程范围方向一致,按从路肩到坡脚(堑顶)的顺序返回该边坡措施组合、各边坡措施名称及其控制点,结束遍历;否则,执行步骤 D2。

步骤 D2 遍历所有边坡措施组合的路基类型、措施类型、路基高度集合,判断:如果当前断面与某个边坡措施组合的路基类型一致,措施类型一致,且当前断面的路基高度属于该组合的路基高度集合,按从路肩

到坡脚(堑顶)的顺序返回该边坡措施组合、各边坡措施名称及其控制点,结束遍历;否则,返回空值,检查边坡措施组合数据库的各适用条件。

步骤 E 对于个别匹配不合适的边坡措施调取路基边坡措施组合数据库中合适的条目进行手动调整。

该方法的实现流程如图4所示。

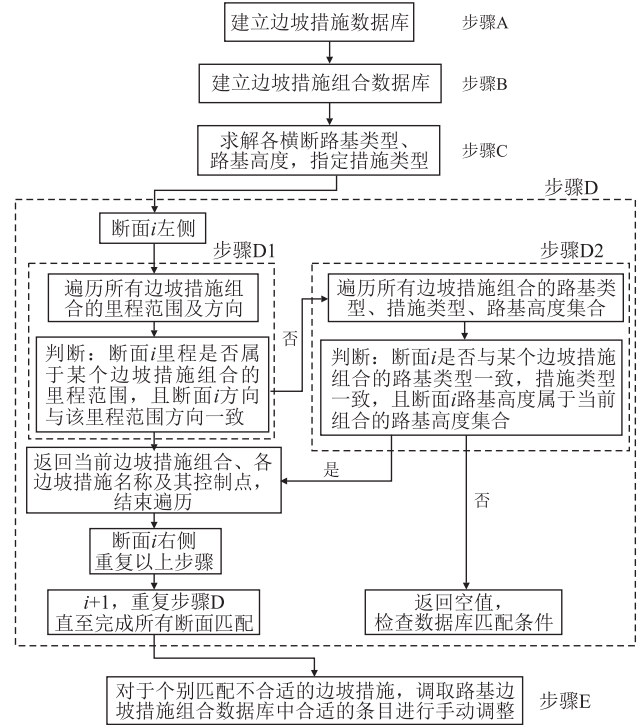


图4 大规模铁路路基横断面边坡措施设计方法图

3 实例应用

以某铁路路基工点横断面设计实例对该方法进行说明,设计原则要求:①边坡、重力式挡土墙、桩板墙均采用既有边坡措施数据库中的标准类型,不需要进行自定义补充;②对于路堤,除段落 DK 16 + 900 ~ DK 17 + 000 左侧边坡采用桩板墙防护外,其余工点路基高度不足 8 m 的不做支挡防护,路基高度超过 8 m 的采用重力式挡土墙防护;③对于路堑,除段落 DK 17 + 020 ~ DK 17 + 050 右侧边坡采用桩板墙防护外,其余工点采用重力式挡土墙防护。

首先建立边坡措施数据库,根据设计原则①,直接采用现有的标准边坡措施数据库;然后建立边坡措施组合数据库,根据设计原则②,创建边坡措施组合 1-3;根据设计原则③,创建边坡措施组合 4-5。边坡措施组合数据库如表1所示。

根据工程设置及线路信息,计算各断面左、右侧路基类型与路基高度,指定措施类型,各横断面计算结果如表2所示。

表 1 边坡措施组合数据库表

横断面序号		1	2	3	4	5
条件 0: 里程范围	前里程	-	-	DK 16 + 900	-	DK 17 + 020
	后里程	-	-	DK 17 + 000	-	DK 17 + 050
	位置	-	-	左侧	-	右侧
条件 1:路基类型		路堤	路堤	路堤	路堑	路堑
条件 2:措施类型		重力式挡土墙	重力式挡土墙	桩板墙	重力式挡土墙	桩板墙
条件 3:路基高度		(0,8)	[8,16)	(0,99)	(0,99)	(0,99)
边坡措施组合		路堤边坡 3	路堤边坡 3, 重力式挡土墙	路堤边坡 3,桩板墙	侧沟,重力式挡土墙, 路堑边坡 2	侧沟,桩板墙, 路堑边坡 2
设施 1		边坡	边坡	边坡	侧沟	侧沟
设施名		路堤边坡 3	路堤边坡 3	路堤边坡 3	矩形侧沟	矩形侧沟
设施 2		-	重力式挡土墙	桩板墙	重力式挡土墙	桩板墙
设施名		-	H = 9 路堤重力式挡土墙	H = 14 路堤桩板墙	H = 4 路堑重力式挡土墙	H = 12 路堑桩板墙
设施 3		-	-	-	边坡	边坡
设施名		-	-	-	路堑边坡 2	路堑边坡 2

表 2 横断面计算结果表

横断面编号		1	2	3	4
里程		DK 16 + 968. 25	DK 17 + 000. 75	DK 17 + 040. 74	DK 17 + 075. 95
左侧计算结果	路基形式	路堤	路堑	路堑	路堤
	措施类型	重力式挡土墙	重力式挡土墙	重力式挡土墙	重力式挡土墙
	路基高度/m	9. 927	8. 976	5. 452	5. 525
右侧计算结果	路基形式	路堤	路堑	路堑	路堤
	措施类型	重力式挡土墙	重力式挡土墙	重力式挡土墙	重力式挡土墙
	路基高度/m	10. 165	6. 531	15. 968	5. 127

然后基于本文所述方法进行边坡措施设计：

横断面 1 的左侧,里程属于边坡措施组合 3(路堤边坡 3,桩板墙)的里程范围,且方向一致,因此执行步骤 D1,返回该边坡措施组合(路堤边坡 3,桩板墙)、边坡措施名称并前往相应边坡措施数据库查找控制点；横断面 1 的右侧,里程属于边坡措施组合 3(路堤边坡 3,桩板墙)的里程范围,但方向不一致,因此执行步骤 D2,返回路基类型、措施类型以及路基高度均符合要求

的边坡措施组合 2(路堤边坡 3,重力式挡土墙)的相关数据。

横断面 2 的里程超出边坡措施组合数据库范围,左、右侧均执行步骤 D2,返回路基类型、措施类型以及

路基高度均符合要求的边坡措施组合 4(侧沟,重力式挡土墙,路堑边坡 2)的相关数据。

横断面 3 类似断面 1,左侧执行步骤 D2,返回边坡措施组合 4(侧沟,重力式挡土墙,路堑边坡 2)的相关数据；右侧执行步骤 D1,返回边坡措施组合 5(侧沟,桩板墙,路堑边坡 2)的相关数据。

横断面 4 类似断面 2,左、右侧均执行步骤 D2,返回边坡措施组合 1(路堤边坡 3,重力式挡土墙)的相关数据。

至此,完成各横断面的边坡措施设计,可以此为依据前往边坡措施数据库调取绘图参数进行横断面绘图。边坡措施设计结果汇总如表 3 所示。

表 3 边坡措施设计结果汇总表

横断面编号		1	2	3	4
里程		DK 16 + 968. 25	DK 17 + 000. 75	DK 17 + 040. 74	DK 17 + 075. 95
左侧边坡措施	边坡措施组合	路堤边坡 3,桩板墙	侧沟,重力式挡土墙,路堑边坡 2	侧沟,重力式挡土墙,路堑边坡 2	路堤边坡 3
	措施 1	路堤边坡 3	矩形侧沟	矩形侧沟	路堤边坡 3
	措施 1 控制点	路肩	0. 74	0. 74	路肩
	措施 2	H = 14 路堤桩板墙	H = 4 路堑重力式挡土墙	H = 4 路堑重力式挡土墙	-
	措施 2 控制点	3	侧沟平台	侧沟平台	-
	措施 3	-	路堑边坡 2	路堑边坡 2	-
	措施 3 控制点	-	路肩或上级措施	路肩或上级措施	-
右侧边坡措施	边坡措施组合	路堤边坡 3,重力式挡土墙	侧沟,重力式挡土墙,路堑边坡 2	侧沟,桩板墙,路堑边坡 2	路堤边坡 3
	措施 1	路堤边坡 3	矩形侧沟	矩形侧沟	路堤边坡 3
	措施 1 控制点	路肩	0. 74	0. 74	路肩
	措施 2	H = 9 路堤重力式挡土墙	H = 4 路堑重力式挡土墙	H = 12 路堑桩板墙	-
	措施 2 控制点	3	侧沟平台	侧沟平台	-
	措施 3	-	路堑边坡 2	路堑边坡 2	-
		-	路肩或上级措施	路肩或上级措施	-

4 结论

本文提出了边坡措施组合的概念,通过对边坡措施组合数据库中各边坡措施组合适用条件的筛查,完成各横断面的边坡措施设计。该方法可一次性对所有横断面进行边坡措施设计,设计效率高。本文列出的边坡措施组合匹配的条件包括里程范围、路基类型、措施类型、路基高度,实际应用时可以结合项目情况自定义匹配条件,灵活度高、针对性强。同时,该方法以边坡措施组合的形式对各边坡措施数据库进行管理,不对各边坡措施的类别做具体要求,适用于任意边坡措施的路基横断面设计。

本文提出的设计方法依托数据库进行数据存储与管理,有利于对设计参数的统筹管理,降低设计质量管理难度。可通过建立的标准数据库,根据不同项目需求不断对其补充完善,提高数据库的兼容性。随着数据库的丰富完善,不同项目间相同类型结构的参数可直接调用,降低了数据库管理工作量,从侧面提升了设计效率。

基于本文提出的设计方法开发的铁路路基数字化设计系统已在包银、沈白、潍烟、集大原等多条铁路中得到应用,助力铁路路基横断面边坡设计向数字化、智能化转型。该方法不限于铁路领域,也可对市政道路、公路等领域的路基边坡设计方法升级提供借鉴。

参考文献:

- [1] 白青波. 铁路路基工点排水自动化设计[J]. 铁道勘察, 2021, 47(4): 91-95.
BAI Qingbo. Research on Automatic Drainage Design of Railway Subgrade[J]. Railway Investigation and Surveying, 2021, 47(4): 91-95.
- [2] 付铭川, 周成, 李安洪, 等. 400 km/h 高速铁路路基设计主要技术标准探讨[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(5): 68-72, 78.
FU Mingchuan, ZHOU Cheng, LI Anhong, et al. Discussion on Main Technical Standards for Earthworks Design of 400 km/h High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(5): 68-72, 78.
- [3] 熊林敦. 高速铁路路基设计中有关问题的回顾与思考[J]. 铁道标准设计, 2011, 55(8): 1-3, 12.
XIONG Lindun. Review and Re-think of Related Problems in Subgrade Design for High Speed Railways[J]. Railway Standard Design, 2011, 55(8): 1-3, 12.
- [4] 周诗广. 高速铁路路基设计的新特点解析[J]. 铁道经济研究, 2010(3): 21-24.
ZHOU Shiguang. Analysis on the New Characteristics of High-speed Railway Subgrade Design[J]. Railway Economics Research, 2010(3): 21-24.
- [5] 成启航, 程云, 郑六益. 基于 TRIZ 理论的某高原铁路陡坡路基方案设计[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 51-55.
CHENG Qihang, CHENG Yun, ZHENG Liuyi. Scheme Design of Steep Slope Subgrade for a Plateau Railway Based on TRIZ Theory[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 51-55.
- [6] 谷存雷, 袁报, 李宁, 等. 日兰高速铁路联络线引入工程的路基优化研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(5): 100-104, 116.
GU Cunlei, Yuan Bao, LI Ning, et al. A Study on Subgrade Optimization for Rizhao-Lanzhou High-speed Railway Connection line[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5): 100-104, 116.
- [7] 王卫东, 詹振炎. 基于数据库的铁路路基横断面设计系统[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(3): 77-81.
WANG Weidong, ZHAN Zhenyan. Railway Cross Section Computer Aided Design Based on Database[J]. China Railway Science, 2002, 23(3): 77-81.
- [8] 唐伟其. 基于自定义实体技术的公路路基横断面设计[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
TANG Weiqi. Cross-section Design of Highway Subgrade Based on User-defined Entity Technology[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [9] 孙洪德, 黄淼, 王志峰. CARD/1 横断面开发程序的优化[J]. 山西建筑, 2010, 36(35): 363-364.
SUN Hongde, HUANG Miao, WANG Zhifeng. On Optimization of Developing Program of CARD/1 Cross-section[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(35): 363-364.
- [10] 陈豪. 路基设计软件中横断面数据处理的探讨[J]. 科学技术创新, 2021(22): 140-142.
CHEN Hao. Discussion on Cross-section Data Processing in Subgrade Design Software[J]. Scientific and Technological Innovation, 2021, (22): 140-142.