

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.06.017

# 考虑电动自行车骑行的非机动车道最大纵坡探讨

蒋隆建

(福州市城乡规划设计院有限公司,福建 福州 350007)

**摘要:** 现行规范要求非机动车道的最大纵坡不超过3.5%,但在山地城市、跨江桥梁两岸慢行系统衔接等场景下满足该要求存在工程占地大、造价高、可实施性差等问题,考虑到电动自行车在非机动车出行方式中占比越来越高的实际情况,以《电动自行车安全技术规范》(GB 17761—2018)规定的国标电动自行车为研究对象对骑行过程进行受力分析,提出了可满足电动自行车骑行要求的非机动车道最大纵坡参考值,可供电动车骑行占比高的类似项目参考。

**关键词:** 电动自行车;非机动车;最大纵坡;骑行

**中图分类号:** U412.37

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)06-0066-04

## 0 引言

随着城市交通拥堵情况加剧,电动自行车作为一种更便捷、更灵活的出行方式深受人们喜爱。根据中国自行车协会的数据显示,2021年我国电动自行车的社会保有量达3.4亿辆,根据国家统计局数据,截至2021年末,城镇居民家庭中平均每百户的电动自行车拥有量约为68.8辆,且近5a的年平均增长率为6.8%<sup>[1]</sup>。通过调查国内主要城市的电动自行车出行现状及发展情况,显示电动自行车出行比例增长很快,以南宁市为例,2016年南宁的城市交通出行方式中36.4%的出行依赖于电动自行车,自行车交通量的占比则从2007年的19%迅速降到2016年的1%;厦门市的电动自行车出行比例由2015年的6.5%上升至2021年的18.95%;天津市的电动自行车出行占非机动车出行总量的92%以上<sup>[2]</sup>。究其原因,主要是快速城镇化使得城市空间扩大,出行距离变长,超过了自行车的适用范围,电动自行车便以其轻便、经济、可达性强的优势满足了新的交通出行需求。

基于电动自行车保有量及增长率均较大的这一实际情况,在某些特定的道路设计情境下,考虑非机动车的出行时有必要以电动自行车为研究对象,提出能够满足电动自行车骑行要求的非机动车道几何设计指标。由于电动自行车机动灵活,受到平面线形限

制较小,爬坡能力是限制其骑行范围的主要因素,因此本文针对电动自行车骑行的最大纵坡参考值进行探讨。

## 1 非机动车道最大纵坡的现行规范与实践

### 1.1 现行相关法律、规范

《中华人民共和国道路交通安全法》中对非机动车的定义为“以人力或者畜力驱动,上道路行驶的交通工具,以及虽有动力装置驱动但设计最高时速、空车质量、外形尺寸符合有关国家标准的残疾人机动轮椅车、电动自行车等交通工具”。但《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)<sup>[3]</sup>出于对电动自行车在交通管理、电池回收、发展方向等方面均存在不确定性的考虑,在非机动车的设计车辆类型上仅包括了自行车和三轮车,并未包括电动自行车。关于电动自行车最大纵坡的规定目前还缺少相关的规范、标准支持,现行规范主要针对非机动车的骑行和推行两种方式规定了相应的最大纵坡。

#### 1.1.1 考虑骑行方式的规范要求

以现行《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)为代表的路线设计类规范来考虑非机动车骑行要求,非机动车道纵坡宜小于2.5%,当 $\geq 2.5\%$ 时,纵坡的最大坡长需符合的规定如表1所示。

现行规范对于非机动车道纵坡的规定可追溯到1997年出版的《交通工程手册》<sup>[4]</sup>,考虑纵坡 $\leq 2.5\%$ 时对自行车骑行者的影响甚微,超过2.5%时则上坡困难、下坡危险,故在坡长方面予以限制。纵坡为1%时,男女青年上坡的骑行速度约为10~15 km/h,纵

收稿日期:2023-06-28

作者简介:蒋隆建(1988—),男,工学硕士,高级工程师,从事道路设计工作。

表1 《城市道路工程设计规范》(CJJ37—2012)非机动车道纵坡及坡长限制表

纵坡 /%		3.5	3.0	2.5
最大坡长 /m	自行车	150	200	300
	三轮车	-	100	150

坡为2%时,男女青年上坡的骑行速度约为7~12 km/h,纵坡为3%时,男女青年上坡的骑行速度约为5 km/h,此时已相当于步行速度,因此现行设计规范中对自行车的最大纵坡规定在3.5%。

《车库建筑设计规范》(JGJ 100—2015)<sup>[5]</sup>中非机动车的设计车型包括了自行车、三轮车、电动自行车和机动轮椅车,条文说明提及对机动轮椅车的最大纵坡规定为8%,三轮车坡道最大纵坡为3%。可见该规范对于三轮车的最大纵坡规定与路线设计类规范一致,但补充了机动轮椅车的最大纵坡参考值。

住建部2016年颁布的《绿道规划设计导则》<sup>[6]</sup>对供人步行及自行车骑行的绿道纵坡做了规定,如表2所示,自行车道坡度 $\geq 2.5\%$ 时则按表1中规定限制坡长。随后各地陆续编制了相应的绿道建设地方标准,基本上沿用了表2的纵坡规定,个别地方对自行车道的纵坡做了更严格的限制,如《福建省绿道规划建设标准》(DBJT 13-194—2014)<sup>[7]</sup>对自行车道最大纵坡要求不宜超过5%。

表2 《绿道规划设计导则》非机动车道纵坡限制表

绿道游径类型	纵坡坡度
步行道	$> 8\%$ 时,应辅以梯步解决竖向交通
自行车道	$< 2.5\%$ 为宜,最大不宜超过8%
步行骑行综合道	$< 2.5\%$ 为宜,最大不宜超过8%

### 1.1.2 考虑推行方式的规范要求

以现行《建筑与市政工程无障碍通用规范》(GB 55019—2021)<sup>[8]</sup>及《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—95)<sup>[9]</sup>为代表的无障碍类规范考虑自行车的推行情况,要求坡道坡度不宜大于1:4,残疾人坡道则以手摇三轮车为主要出行工具,故要求坡道不宜大于1:12,有特殊困难时不应大于1:10。

《车库建筑设计规范》(JGJ 100—2015)同时也包括了非机动车推行相关的最大纵坡要求,自行车重量较轻,基本使用踏步式出入口,最大坡度不宜大于25%;其他非机动车重量大,推行困难,应使用坡道式出入口,坡道式出入口的斜坡坡度要求为不宜大于15%。

### 1.2 既有工程实践

通过对现有规范的梳理,可见在对市政道路的

设计中,非机动车道最大纵坡基本是按照《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)规定的2.5%~3.5%执行,坡道很缓,适合于传统人力自行车骑行,但在跨江桥梁两岸接线慢行系统、山地城市以及城市立体过街设施等情境下,按该纵坡要求控制往往存在一些新问题。比如在城市跨江桥梁建设中,受通航净空要求、两岸横向衔接道路与主桥间距限制等因素影响,主桥慢行系统需要在短距离内克服几十米高差方可与两岸横向道路慢行系统衔接,按现行规范非机动车道纵坡要求来设计则会存在展线长、占地大、桥梁造价高、实施难度大等问题。

在设计实践中已经出现过一些工程以电动自行车为设计对象考虑最大纵坡。南京夹江大桥河西侧非机动车道在设计时,专门对夹江大桥非机动车道的交通量进行了连续十天的统计,发现其中以电动自行车及摩托车为主,占非机动车交通量的92.2%,而自行车仅占7.2%,三轮车及板车占0.6%,基于对现状交通量构成及工程造价等方面的综合考虑,对河西侧非机动车道采用了5%的纵坡<sup>[10]</sup>。2016年杭州市钱江三桥非机动车道上下桥改善工程采用了6%~7%的“之”字形非机动车缓坡道,如图1所示。2017年福州市尤溪洲北桥头互通立交改造项目的互通区慢行桥纵坡则采用了8.3%<sup>[11]</sup>。2023年武汉市中南路口的行人过街天桥改造拆除了原本的1:4梯坡道,改建为1:10坡道,如图2所示。



图1 钱江三桥非机动车坡道



图2 武汉市中南路口的行人过街天桥改造后坡道

综上所述,工程实践中对以电动自行车通行为主的非机动车道纵坡采用了从5%~10%不等的纵坡,基本控制在现有规范规定的非机动车推行条件的最大纵坡10%以下,从对上述工程的现场运行调研情况来看,电动自行车的骑行均不存在问题,但采用的最大纵坡标准因缺少规范支持而出现不同项目中标准变化较大的情况,因此,有必要对电动自行车骑行的最大纵坡进行研究和进一步规范。

## 2 电动自行车运动学模型

电动自行车的驱动力和道路行驶时阻力的共同作用决定了车辆的运动状态,以电动自行车以某一速度匀速爬坡过程作为分析对象,分析其能行驶的最大坡度。

### 2.1 行驶阻力模型

电动自行车的道路行驶阻力如公式(1):

$$\sum F = F_f + F_i + F_w + F_j \quad (1)$$

式中: $F_f$ 为滚动阻力,N; $F_i$ 为坡度阻力,N; $F_w$ 为空气阻力,N; $F_j$ 为加速阻力,N。因本文以电动自行车的匀速爬坡过程作为分析对象,故加速阻力不计。

#### 2.1.1 滚动阻力 $F_f$

滚动阻力来源于轮胎与路面的摩擦阻力及轮胎受压产生的变形阻力等,影响滚动阻力的因素较多,如路面类型、轮胎材料及结构、胎压、行驶速度等,故一般采用经验公式(2)来计算滚动阻力。

$$F_f = fmg \cos \alpha \quad (2)$$

式中: $F_f$ 为滚动阻力,N; $f$ 为滚动阻力系数; $m$ 为车辆行驶部分质量,kg; $g$ 为重力加速度,取 $9.8 \text{ m/s}^2$ ; $\alpha$ 为坡度角, $^\circ$ 。

在良好的沥青或混凝土路面条件下,滚动阻力系数约为0.01~0.018,取 $f=0.015$ 。

#### 2.1.2 坡度阻力

电动自行车爬坡时沿坡道方向重力的分力为坡度阻力,采用公式(3)计算。

$$F_i = mg \sin \alpha \quad (3)$$

式中: $F_i$ 为坡度阻力,N; $m$ 为车辆行驶部分质量,kg; $g$ 为重力加速度,取 $9.8 \text{ m/s}^2$ ; $\alpha$ 为坡度角, $^\circ$ 。

#### 2.1.3 空气阻力

电动自行车行驶时受到空气的作用力,该力在行驶方向上的分力即为空气阻力,速度越快,则空气阻力越大,可采用公式(4)计算。

$$F_w = \frac{1}{2} C_d A \rho V^2 \quad (4)$$

式中: $F_w$ 为空气阻力,N; $C_d$ 为空气阻力系数; $A$ 为迎风面面积, $\text{m}^2$ ; $\rho$ 为空气密度,取 $1.293 \text{ kg/m}^3$ ; $V$ 为相对速度, $\text{m/s}$ 。

空气阻力系数 $C_d$ 及迎风面面积 $A$ 与车型、骑乘姿势等多种因素相关,参考摩托车的空气阻力系数取 $C_d=0.86$ ,迎风面面积 $A=0.5 \text{ m}^2$ [12],相对速度取无风时速度,即行车速度。

### 2.2 电动自行车模型

《电动自行车安全技术规范》(GB 17761—2018)[13]对电动自行车的技术指标做了明确规定,相关参数采用该规范要求,取整车质量 $m_1=55 \text{ kg}$ ,驾驶员体重 $m_2$ 按生活经验取 $m_2=80 \text{ kg}$ ,则车辆行驶部分质量 $m=m_1+m_2=135 \text{ kg}$ ,电动车电机综合效率取 $\eta=0.8$ [14]。

### 2.3 电动自行车匀速爬坡模型

为便于分析,将电动自行车简化为质点模型,行驶阻力及驱动力均作用于质点处,匀速行驶时驱动力等于行驶阻力,其运动学模型见式(5)。

$$\eta P = \sum F V = (F_f + F_i + F_w) V \quad (5)$$

式中: $P$ 为爬坡时电机功率,W; $V$ 为爬坡速度, $\text{km/h}$ 。将式(1)、(2)、(3)、(4)代入式(5)可得匀速爬坡时所需功率 $P$ ,如式(6)。

$$P = (fmg \cos \alpha + mg \sin \alpha + \frac{1}{2} C_d A \rho V^2) V / \eta \quad (6)$$

从式(6)可知,在车辆行驶部分质量 $m$ 、滚动阻力系数 $f$ 、空气阻力系数 $C_d$ 、迎风面面积 $A$ 及电机综合效率 $\eta$ 均已采用合理参数的前提下,电动自行车爬坡所需的功率 $P$ 为坡度角 $\alpha$ 和爬坡速度 $V$ 的函数。

《中华人民共和国道路交通安全法》规定“残疾人机动轮椅车、电动自行车在非机动车道内行驶时,最高时速不得超过十五公里”,取爬坡速度 $V$ 上限为 $15 \text{ km/h}$ 。行人步行速度一般为 $5 \text{ km/h}$ ,电动自行车爬坡速度低于该速度时已无意义,故取爬坡速度 $V$ 下限为 $5 \text{ km/h}$ 。

令式(6)中电机功率 $P=400 \text{ W}$ ,爬坡速度 $V \in (5, 15)$ 并取整数值,计算得到不同爬坡速度下,电动自行车能行驶的最大坡度角 $\alpha$ ,并转换为道路设计中的纵坡参考值,结果如表3及图3所示。

通过回归得到二者呈幂函数关系,回归公式为 $\alpha=128.92V^{-1.275}$ 。

## 3 电动自行车行驶最大纵坡建议值

根据第2节对国标电动自行车爬坡速度与最大



表3 国标电动自行车爬坡速度与最大纵坡对应关系表

爬坡速度 $V/(km \cdot h^{-1})$	纵坡 $i\%$
5	16.0
6	13.0
7	10.9
8	9.3
9	8.0
10	7.0
11	6.2
12	5.5
13	4.9
14	4.4
15	3.9

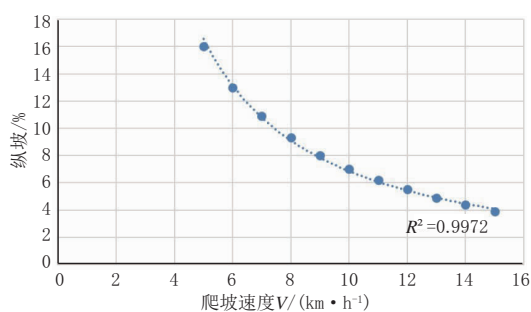


图3 国标电动自行车爬坡速度与最大纵坡对应关系图

坡度的关系研究,爬坡速度为5 km/h时可以理解为骑车人步行推行速度,对应的最大坡度约为16%,基本对应于《车库建筑设计规范》(JGJ 100—2015)中推行坡道式出入口斜坡坡度不宜大于15%的规定;爬坡速度15 km/h为非机动车法定最大行驶速度,对应的最大坡度约为3.9%,基本对应于《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)中非机动车最大纵坡3.5%的规定。可见,在国标电动自行车的条件下,现行规范对非机动车最大纵坡的规定仍然适用。

在跨江桥梁两岸接线慢行系统、山地城市、城市立体过街设施等设计情境下,对非机动车的交通组成进行充分调研后可知:若以电动自行车为主要设计车型,可牺牲部分爬坡速度,以提高非机动车道的纵坡值、节约工程造价;但爬坡速度也不可降低过多,否则影响骑车人的驾驶体验,建议可取2倍步行速度作为界限值,即爬坡速度10 km/h,对应的电动自行车最大纵坡7%作为道路工程设计中电动自行车道的最大纵坡参考值。

## 4 结 语

(1)目前国内许多城市的电动自行车保有量及增长率均较大,在电动自行车出行占非机动车出行比例高的道路设计实践中,采用电动自行车作为非机动车设计车型可增加纵坡、减少展线长度,从而降低工程造价、节约用地。但现行规范并未给出电动自行车最大纵坡标准,导致不同工程实践中所采用的非机动车道最大纵坡标准差异较大。

(2)根据《电动自行车安全技术规范》所给定的国标电动自行车模型,以电动自行车匀速爬坡过程作为分析对象,分析其能够行驶的最大坡度,给出5~15 km/h的爬坡速度范围内对应的最大纵坡值。

(3)通过国标电动自行车爬坡速度与最大坡度的关系分析可知,在国标电动自行车的条件下,现行规范对非机动车最大纵坡的规定仍然适用。但在某些以电动自行车为非机动车设计车型的道路设计实践中,可通过降低部分爬坡速度以换取较大的纵坡,建议取10 km/h爬坡速度对应的所能行驶的最大纵坡7%作为电动自行车道的最大纵坡参考值。

### 参考文献:

- [1] 国家统计局.中国统计年鉴—2022[M].北京:中国统计出版社,2022.
- [2] 任衍方.考虑电动自行车影响的道路设计研究[J].城市地理,2015(18):210-212.
- [3] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范[S].
- [4] 中国公路学会《交通工程手册》编委会.交通工程手册[M].北京:人民交通出版社,1997.
- [5] JGJ 100—2015,车库建筑设计规范[S].
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.绿道规划设计导则[M].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [7] DBJ/T13—194—2014,福建省绿道规划建设标准[S].
- [8] GB 55019—2021,建筑与市政工程无障碍通用规范[S].
- [9] CJJ 69—95,城市人行天桥与人行地道技术规范[S].
- [10] 黄晓东,史松磊.夹江大桥非机动车道桥设计与分析[J].城市道桥与防洪,2013(4):82-84,10.
- [11] 黄金龙.福州市尤溪洲北桥头互通立交改造方案研究[J].福建建设科技,2017(2):80-82,91.
- [12] 宫建军.影响摩托车行驶阻力的因素的分析[J].摩托车技术,2002(5):11-12.
- [13] GB 17761—2018,电动自行车安全技术规范[S].
- [14] 尹亮,吕滔.电动自行车综合效率研究——电动车用蓄电池热损耗试验[J].价值工程,2017(1):147-148.