

中国与澳大利亚公路平面线形设计标准对比

祁志华¹, 陈海涛², 方明镜³, 芮 瑞³

¹中国港湾工程有限责任公司, 北京

²中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州

³武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年9月20日; 录用日期: 2023年11月22日; 发布日期: 2023年11月30日

摘 要

目前南太平洋工程市场上, 中国规范与主流澳大利亚规范中诸多细节不同, 且澳大利亚标准体系与中国标准体系存在大量思路上的不同, 分散在各不同的规范文本中。首先梳理了中国规范与澳大利亚规范中关于道路设计中平面设计内容的对比, 包括平曲线要素设计以及平曲线组合设计: 直线设计类似; 关于圆曲线设计的原理相同但各参数及最小圆曲线设计半径不同; 缓和曲线的线形不同但曲线性质相同, 故设计计算公式也相同。然后, 针对中澳规范中平纵组合设计也进行了比较分析。最后, 建议中国公司在澳洲南太平洋地区开展实施相关公路工程, 应该根据具体的情况采用合适的技术规范, 特别应注重相较于中国规范的差异性。

关键词

中澳, 规范对比, 公路, 平面线形, 设计

Comparison between China and Australian Highway Specifications on Horizontal Alignment Design

Zhihua Qi¹, Haitao Chen², Mingjing Fang³, Rui Rui³

¹China Harbour Engineering Company Ltd., Beijing

²CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

³School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei

Received: Sep. 20th, 2023; accepted: Nov. 22nd, 2023; published: Nov. 30th, 2023

Abstract

Currently, in the South Pacific engineering market, there are numerous detailed discrepancies between Chinese specifications and mainstream Australian ones. Moreover, the Australian stan-

dards system and the Chinese one display significant differences in their approaches, scattered across various standards documents. This paper presents a comprehensive comparison of the plane design between Chinese and Australian specifications, including the plane curve element design and the plane curve combination design. The results indicated that the design of straight lines is largely the same; the design of circular curves is based on the same principles but the parameters and the minimum radius of the design of circular curves are different; the transition curves are different but the nature of the curves is the same, therefore, both specifications have the same the design calculation formulates. Then, a comparative analysis is also carried out for the plain and longitudinal combination design of the Chinese and Australian specifications. Lastly, a suggestion was proposed that Chinese companies carrying out and implementing relevant road engineering projects in the South Pacific region of Australia should adopt appropriate technical specifications according to specific circumstances, paying special attention to the differences compared with Chinese standards.

Keywords

China and Australia, Comparison of Specifications, Highway, Horizontal Alignment, Design

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在国家“走出去”战略和“一带一路”倡议的持续推动的大背景下，中国基建企业开始在南太平洋以澳大利亚规范作为标准的区域承接道路建设项目。项目管理人员熟悉中国道路规范，而不熟悉澳大利亚规范，故形成一套体系化、标准化的中国与澳大利亚规范道路设计标准对比是迫切的、需要的，以便用于指导实际道路设计。澳大利亚及新西兰两国在美国等国的公路技术标准的基础上发行了公路设计规范(GUIDE TO ROAD DESIGN, Austroads) [1] [2]，其第三部分(Geometric Design)作为澳大利亚及周边国家的公路平面线形设计的技术标准，其几何线形的灵活性设计与中国规范类似，但设计参数取值的规定较中国的规范更加精细。

鉴于此，本文旨在通过对比中国与澳大利亚中关于平面线形设计的内容，且以中国规范设计思路为澳大利亚道路设计平面线形设计提供详细说明。具体对比为以下四个方面内容[3]：1) 道路直线设计。对比包括直线最大长度以及直线最小长度设计。2) 道路圆曲线设计。对比包括圆曲线方程确定、侧摩擦系数以及圆曲线半径设计。3) 道路缓和曲线设计。对比包括缓和曲线设计图示、缓和曲线计算公式以及缓和曲线长度设计。4) 道路平面线形组合设计。通过各平面线形设计要素参数的对比，使中国规范更加完善，使在澳公路建设工程更符合当地建设标准。

2. 直线设计

直线作为平面曲线要素之一，在道路线形设计中广泛采用[3] [4]。地势平坦、无较大地形障碍时，定线人员应首先选择直线。过长的直线会使驾驶员感到单调，难以目测距离，甚至激发超速驾驶导致交通事故；曲线的短直线容易造成实现不连续、驾驶员操作困难。故直线的长度设计应遵循工程应用的实际情况。表 1 列举了中国规范与澳大利亚规范直线规范对比为中国规范与澳大利亚规范中关于直线规定的对比。

Table 1. Comparison of Chinese and Australian straight line standard
表 1. 中国规范与澳大利亚规范直线规范对比

| 对比项目 | 对比内容 | |
|--------|--|--------|
| | 中国规范 | 澳大利亚规范 |
| 最大直线长度 | 无具体规定 | 无具体规定 |
| 最小直线长度 | <ul style="list-style-type: none"> 设计速度 $V \geq 60$ km/h 的同向圆曲线间直线最小长度以不小于 $6V$ 为宜。 反向曲线间的直线最小长度以不小于 $2V$ 为宜。 | 无具体规定 |

3. 圆曲线设计

3.1. 圆曲线方程与侧摩擦系数

中国规范圆曲线半径表达式[3] [5]如下式所示:

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i_h)} \quad (1)$$

其中: μ 为横向力系数; V 为汽车行驶速度(km/h); R 为圆曲线半径(m); i_h 为横向超高值。

澳大利亚规范圆曲线半径表达式如下式所示:

$$R = \frac{v^2}{127(e+f)g} = \frac{V^2}{127(e+f)} \quad (2)$$

其中: v 为汽车速度(m/s); V 为汽车速度(km/h); R 为圆曲线半径(m); e 为路面超高(m/m); f 为侧摩擦系数(轮胎与路面之间), 取值见表 2; g 为重力加速度(9.81 m/s^2)。

Table 2. The side friction coefficients for passenger cars and freight cars [2] [6]
表 2. 客车和货车的推荐侧摩擦系数[2] [6]

| 运行速度(km/h) | 汽车 | | 货车 | |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 预期最大值 | 绝对最大值 | 预期最大值 | 绝对最大值 |
| 40 | 0.30 | 0.35 | 0.21 | — |
| 50 | 0.30 | 0.35 | 0.21 | 0.25 |
| 60 | 0.24 | 0.33 | 0.17 | 0.24 |
| 70 | 0.19 | 0.31 | 0.14 | 0.23 |
| 80 | 0.16 | 0.26 | 0.13 | 0.20 |
| 90 | 0.13 | 0.20 | 0.12 | 0.15 |
| 100 | 0.12 | 0.16 | 0.12 | 0.12 |
| 110 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 120 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 |
| 130 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | — |

3.2. 圆曲线最小半径

中国规范规定城市道路[7]与公路圆曲线最小半径[3]如表 3、表 4 所示。

Table 3. Minimum radius of urban road circle curve
表 3. 城市道路圆曲线最小半径

| | | | | | | | | |
|--------------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|----|
| 设计速度(km/h) | | 100 | 80 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 |
| 不设超高的最小半径(m) | | 1600 | 1000 | 600 | 400 | 300 | 150 | 70 |
| 设超高的最小半径(m) | 一般值 | 650 | 400 | 300 | 200 | 150 | 85 | 40 |
| | 极限值 | 400 | 250 | 150 | 100 | 70 | 40 | 20 |

Table 4. Minimum radius of highway circle curve
表 4. 公路圆曲线最小半径

| | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|
| 设计速度(km/h) | | 120 | 100 | 80 | 60 | 50 | 40 | 30 |
| 圆曲线最小半径(一般值) (m) | | 1000 | 700 | 400 | 200 | 100 | 65 | 30 |
| 圆曲线最小半径(极限值) (m) | $i_{h(max)} = 4\%$ | 810 | 500 | 300 | 150 | 65 | 40 | 20 |
| | $i_{h(max)} = 6\%$ | 710 | 440 | 270 | 135 | 60 | 35 | 15 |
| | $i_{h(max)} = 8\%$ | 650 | 400 | 250 | 125 | 60 | 30 | 15 |
| | $i_{h(max)} = 10\%$ | 570 | 360 | 220 | 115 | — | — | — |

注：“一般值”为正常情况下的采用值；“极限值”为条件受限可采用的值；“ $i_{h(max)}$ ”为采用的最大超高值；“—”为不考虑采用对应最大超高值的情况。

澳大利亚规范中关于高速公路圆曲线最小半径[6]的规定如表 5、表 6 所示。

Table 5. Minimum radius of highway circle curve
表 5. 高速公路圆曲线最小半径(m)

| 汽车运行速度(km/h) | 超高(%) | | | |
|--------------|-------|-----|-----|-----|
| | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 100 | 415 | 400 | 375 | 360 |
| 110 | 635 | 595 | 560 | 530 |
| 120 | 810 | 760 | 710 | 670 |
| 130 | 950 | 890 | 830 | 785 |

Table 6. Comparison of Chinese and Australian straight circle curve
表 6. 中国规范与澳大利亚规范圆曲线规范对比

| 对比项目 | 对比内容 | | 备注 |
|-------------|--|--------|------|
| | 中国规范 | 澳大利亚规范 | |
| 圆曲线公式 | 如式(1) | 如式(2) | 相同 |
| 横向力系数/侧摩擦系数 | $\mu \leq \phi h$ ϕh 一般在干燥路面为 0.4~0.8；在潮湿的沥青路面上汽车高速，降低到 0.25~0.40；路面结冰和积雪时，降到 0.2 下；在光滑的冰面上可降到 0.06 | | 见表 2 |
| 最小圆曲线半径 | 见表 3、表 4 | 见表 5 | |

在较高设计速度的情况下，澳大利亚规范关于最小圆曲线半径极限值的规定值小于中国规范，这主要是由于两国地理条件、气候、路面结构层设计以及车型设计不同，且两国规范对乘客舒适度要求的设计存在差异。中国规范中要求较少使用小转角的圆曲线(7°~10°) [4] [8]，而澳大利亚规范中并无相关规定，故在澳大利亚公路线形设计中常出现小偏角曲线。

4. 缓和曲线设计

4.1. 缓和曲线形式

中国规范中，缓和曲线采用回旋线[3] [9]的形式，其基本方程如下式所示：

$$rl = A^2 \tag{3}$$

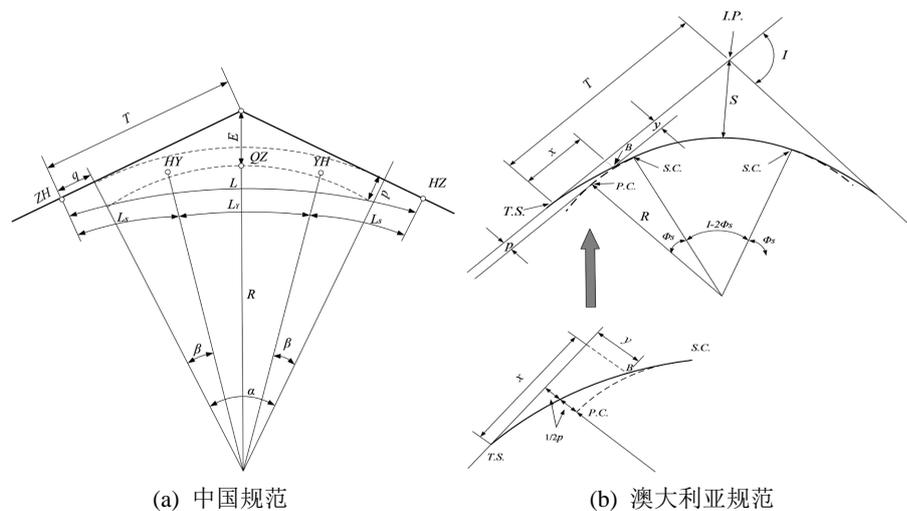
其中： r 为回旋线上某点的曲率半径(m)； l 为回旋线上某点到原点的曲线长(m)； A 为回旋线参数。

澳大利亚规范中连接直线与圆曲线之间的缓和段称为缓和曲线(Transition Curves) [6]，以使车辆在交通车道内的行驶更加平滑，离心加速度变化更加均匀。缓和曲线的标准形式为羊角螺线(Clothoid Spiral)或欧拉螺线(Euler Spiral)，标准形式如下式。

$$\begin{cases} x = C(t) \\ y = S(t) \end{cases} \tag{4}$$

其中 $C(t)$ 、 $S(t)$ 为 Fresnel 积分。

中澳缓和曲线计算图示，分别如图 1(a)和图 1(b)所示。



图中： R —圆曲线半径(m)； $I.P.$ —交点； $T.S.$ —一直缓点； $S.C.$ —缓圆点； $P.C.$ —圆曲线内移点； I —转向角(°)； Φ_s —缓和曲线偏角(°)； T —切线长(m)； S —外矢距(m)； L_p —缓和曲线长度(m)； L_c —圆曲线长度(m)； l —缓和曲线上任意点的距离(m)； x —缓和曲线上任意点切向距离(m)； y —缓和曲线上任意点法向距离(m)； p —内移值即圆曲线上一点到直线上的偏移值(m)。

Figure 1. Transition curve calculation graphical comparison

图 1. 缓和曲线计算图示比较

4.2. 缓和曲线长度

汽车在缓和曲线上行驶，其离心加速度随缓和曲线的曲率变化而变化，离心加速度变化过快，则会

导致乘客感到横向冲击[8] [10]。离心加速度的变化率为：

$$a_s = \frac{a}{t} = \frac{v^2}{Rt} \tag{5}$$

对于超高变化率 α_s ，中国规范中离心加速度变化率一般取 0.5~0.6 m/s³。中国规范中公路与城市道路缓和曲线最小长度的规定如表 7、表 8 所示。

Table 7. Minimum length of highway transition curves at all levels

表 7. 各级公路缓和曲线最小长度

| | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|----|----|----|----|----|
| 设计速度(km/h) | 120 | 100 | 80 | 60 | 40 | 30 | 20 |
| 缓和曲线最小长度(m) | 100 | 85 | 70 | 50 | 35 | 25 | 20 |

Table 8. Minimum length of urban road transition curves

表 8. 城市道路缓和曲线最小长度

| | | | | | | | |
|-------------|-----|----|----|----|----|----|----|
| 设计速度(km/h) | 100 | 80 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 |
| 缓和曲线最小长度(m) | 85 | 70 | 50 | 45 | 35 | 25 | 20 |

澳大利亚规范中缓和曲线最小长度[11]设置如表 9、表 10 所示。

Table 9. Transition curve setting reference [12] [13]

表 9. 缓和曲线设置参考[12] [13]

| 汽车运行速度(km/h) | 需要设置缓和曲线的最大半径(m) | 最小缓和曲线长度(m) |
|--------------|------------------|-------------|
| ≤60 | — | — |
| 70 | 220 | 40 |
| 80 | 300 | 45 |
| 90 | 400 | 50 |
| 100 | 500 | 55 |
| 110 | 600 | 60 |
| 120 | 775 | 65 |
| 130 | 900 | 70 |

注：1) 车辆运行速度在 60 km/h 及以下的道路可不设置缓和曲线；2) 当道路圆曲线半径大于表中需要设置缓和曲线的最大半径时，可不设置缓和曲线；3) 道路设计时，缓和曲线长度不应小于表中最小缓和曲线长度。

Table 10. Comparison of Chinese and Australian straight transition curve

表 10. 中国规范与澳大利亚规范缓和曲线规范对比

| 对比项目 | 对比内容 | | 备注 |
|----------|---------|---------------------|-------------------------|
| | 中国规范 | 澳大利亚规范[6] [14] [15] | |
| 缓和曲线形式 | 回旋线 | 羊角螺线/欧拉螺线 | 两种曲线的曲率半径均从起始点无穷大过渡到一定值 |
| 缓和曲线计算图示 | 见图 1(a) | 见图 1(b) | 各计算点与计算原理相似 |

Continued

| 计算公式 | | | |
|----------|---|--|----------------------------|
| 切线增长值(m) | $q = \frac{L_s}{2} - \frac{L_s^3}{240R^3}$ | $K = \frac{L_p}{2} - \frac{L_p^3}{2}$ | 各计算公式基本类似, 但澳大利亚规范中无切曲差的规定 |
| 内移值(m) | $p = \frac{L_s^2}{24R} - \frac{L_s^4}{2688R^3}$ | $P = \frac{L_p^2}{24R}$ | |
| 缓和曲线角(°) | $\beta_0 = \frac{L_s}{24R} \cdot \frac{180}{\pi}$ | $\phi_s = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{L_p}{2} R$ | |
| 切线长(m) | $T = (R+p) \tan \frac{\alpha}{2} + q$ | $T = (R+p) \tan \frac{I}{2} + K$ | |
| 外距(m) | $E = (R+p) \sec \frac{\alpha}{2} - R$ | $S = (R+p) \sec \frac{I}{2} - R$ | |
| 切曲差(m) | $J = 2T - L$ | | |

两国关于缓和曲线的规定中, 虽关于线形的规定不同, 但曲线的曲率变化情况相同, 所以缓和曲线设计指标(切线长、内移值等)计算公式类似。然而关于缓和曲线的最小长度, 澳大利亚规范规定值小于中国规范规定值, 其主要原因是由于两国对于乘客乘车舒适度的要求不同。

5. 平面线形组合设计

5.1. 平面线形设计原则

中澳规范对于平面线形设计的原则基本相同, 主要包括 1) 平面线形应直捷、流畅、均匀, 与地形、地物相适应, 与周围环境相协调。在地势平坦开阔的平原微丘区, 线路直捷舒顺, 平面线形三要素中直线占比较大; 在地势起伏的山岭区路线弯曲多变, 曲线在平面线形中占比较大; 如果在没有障碍物的戈壁、草原地区, 不需要人为设置一些不必要的曲线, 以影响线形的协调。直线、圆曲线、缓和曲线的选用及其组合, 取决于地形地物等条件。2) 保持平面线形的均衡与连续。直线与平曲线结合时, 需要避免长直线尽头接小半径曲线、短直线接大半径曲线两种组合。高标准道路与低标准道路之间相连时, 中间需设置过渡段, 应结合地形之间的变化, 使平面线形指标逐渐降低。3) 注意与纵断面设计相协调。4) 平曲线应有足够长度。

5.2. 平面线形组合设计

中国规范中规定常见的平面组合线形有: 基本形曲线、S 形曲线、卵形曲线、凸形曲线、复合形曲线、C 形曲线及回头曲线等; 澳大利亚规范中规定常见的平面组合线形有: 复合形曲线(Compound Curves)、断背曲线(Broken Back Curves)及反向曲线(Reverse Curves)等。但是, 采用澳洲规范时, 一般情况下不建议使用该种曲线类型, 可以使用一条圆曲线代替[14][16]; 此外, 可以采用两条半径相似的曲线代替断背曲线, 一定条件下也可以使用复合曲线代替。

6. 结论与展望

本文基于中国《公路路线设计规范》以及澳大利亚 Austroads Part 3: Geometric Design, 通过对直线、圆曲线以及缓和曲线的设计参数对比, 分析两国关于平面线形设计的异同。本文主要结论如下:

- 1) 中国与澳大利亚关于直线设计类似。直线设计中对最大长度与最小长度均未做出强制性规定, 设计时可参考中国规范。
- 2) 中国与澳大利亚关于圆曲线设计内容相近。两国关于圆曲线设计原理相同; 横向摩擦系数的规定

不同, 中国规范的横向力系数规定了一定范围, 而澳大利亚规范具体取值见表 2, 且整体取值小于中国规范; 澳大利亚规范中圆曲线最小半径的规定值整体小于中国规范取值。

3) 中国与澳大利亚关于缓和曲线设计方法相同。两国关于缓和曲线的线形不同, 中国规范选取回旋线, 澳大利亚规范选取羊角螺旋线, 两种曲线的标准方程不同, 但两种曲线的性质相同, 均是从起点处的曲率半径无穷大过渡到一定值, 故缓和曲线的各要素计算公式相同。

4) 中国规范在内容上简练, 仅罗列关键内容, 便于设计人员快速查找需要的设计规定。澳大利亚规范相较于中国规范更加具体, 更加注重细节; 澳大利亚规范中各章节会详细解释设计原则、应用场景、使用条件等, 并配以典型应用场景的图片加以解释说明, 其篇幅较长。

两国由于地理因素、气候以及人文因素存在较大差异, 澳大利亚规范中关于公路平面线形设计的重要指标取值存在较大差异。关于平面线形设计规范综合对比, 澳大利亚规范中的参数设计指标要求并不高, 也不如中国规范具体、易于操作。相较于中国规范, 在澳大利亚规范中更加注重敏感性设计, 对几何线形和地形的连续性、均衡性给予充分考虑, 中国公路线形建设时过于注意几何线形而忽略地形因素, 从而对公路线形指标带来负面影响, 故澳大利亚规范中提出各指标时融入的人文地理理念是值得中国规范参考的。中国公司在澳洲南太平洋地区开展实施相关公路工程项目, 应该根据具体的情况采用合适的技术规范, 特别应注重相较于中国规范的差异性。

参考文献

- [1] Austroads (2015) Guide to Road Design Part 1: Introduction to Road Design. Austroads Ltd., Sydney.
- [2] Austroads (2015) Guide to Road Design Part 2: Design Considerations. Austroads Ltd., Sydney.
- [3] 中华人民共和国交通运输部. 公路路线设计规范: JTG D20-2017 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程技术标准: JTG B01-2014 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市道路路线设计规范: CJJ 193-2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [6] Austroads (2015) Guide to Road Design Part 3: Geometric Design. Austroads Ltd., Sydney.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市道路交叉口设计规程: CJJ 152-2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [8] 方守恩, 陈雨人. 道路规划与几何设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市道路工程设计规范: CJJ 37-2012 (2016年版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [10] 许金良, 等. 道路勘测设计[M]. 第4版. 北京: 人民交通出版社, 2016.
- [11] Austroads (2017) Guide to Road Design Part 4: Intersections and Crossings General. Austroads Ltd., Sydney.
- [12] Austroads (2017) Guide to Road Design Part 4A: Unsignalised and Signalised Intersections. Austroads Ltd., Sydney.
- [13] Austroads (2015) Guide to Road Design Part 4B: Roundabouts. Austroads Ltd., Sydney.
- [14] Austroads (2020) Guide to Traffic Management Part 2: Traffic Theory Concepts. Austroads Ltd., Sydney.
- [15] Austroads (2020) Guide to Traffic Management Part 3: Transport Study and Analysis Methods. Austroads Ltd., Sydney.
- [16] Austroads (2009) Guide to Traffic Management Part 1: Introduction. Austroads Ltd., Sydney.