DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.02.064

基于JSL-路线专家系统喇叭形互通喇叭头设计新方法

刘利民，杨运平

（中交第二公路勘察设计研究院有限公司，湖北 武汉 430056）

摘要：喇叭形互通式立体交叉作为高速公路应用最多的一种互通式立体交叉形式，其设计方法较为成熟，但并未全部实现自动化设计。在喇叭形互通的喇叭头位置，两条匝道的路基宽度冲突，连接部设计图等图表基本上采用手工或半自动设计方式，而JSL-路线专家系统已经实现了连接部的参数化自动设计。喇叭形互通喇叭头的两条匝道不存在合流与分流，并不是真正意义上的连接部，但二者之间的路基宽度衔接与连接部有高度的相似性。通过深入研究与尝试，充分利用JSL-路线专家系统的灵活性，采用两种连接部设计方法实现了喇叭形互通喇叭头的参数化自动设计。该方法已应用到了多个工程项目设计中，取得了良好的效果。

关键词：喇叭形；互通式立体交叉；自动设计

喇叭形互通式立体交叉（以下简称“喇叭形互通”）是互通式立体交叉的典型代表，具有收费管理方便及工程规模较小等特点，是目前高速公路中应用最多的一种互通式立体交叉形式。因半直连式匝道和环形匝道组合外观类似喇叭而得名。

在常见的路线与互通立交CAD软件中，喇叭形互通的平纵横设计均可以完成。喇叭头位置的两条匝道虽然路基宽度冲突，但在绝大多数CAD软件中，作为两条完全独立的匝道进行设计，与连接线各自直接相接，连接部设计图等部分图表需要手工或半自动方式完成。JSL-路线专家系统作为新一代路线与互通立交CAD系统，应用了数十项创新和专利技术，互通式立体交叉连接部的参数化自动设计是其独特创新之一。喇叭形互通喇叭头的两条匝道不存在合流与分流，并不是真正意义上的连接部，但二者之间的路基宽度衔接与连接部有高度的相似性。通过深入研究与尝试，充分利用JSL-路线专家系统的灵活性，可将喇叭形互通的喇叭头作为连接部，实现参数化自动设计。

1 喇叭形互通喇叭头的常规设计方法

一般情况下，组成喇叭头的半直连式匝道和环形

[3] 李烨.基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模[J].中国高新区，2018(1).

[4] 唐琴.三维激光扫描技术国外应用研究现状及启示[J].世界有色金属，2016(12).

[5] 魏笑辰，罗志清.车载三维激光扫描系统的点云精度分析[J].价值工程，2016(1).

[6] 徐寿志.车载移动测量系统检校技术及其精度评定方法[D].武汉大学博士学位论文，2016.

[7] 李强，邓辉，周毅.三维激光扫描在矿区地面沉陷变形监测中的应用[J].中国地质灾害与防治学报，2014(1).

[8] 张毅，闫利，崔晨风.地面三维激光扫描技术在公路建模中的应用[J].测绘科学，2008(5).

[9] 邹晓亮.车载测量系统数据处理若干关键技术研究[D].解放军信息工程大学博士学位论文，2011.

[10] 宋杨，曾凡洋，高志国.车载全景摄影测量在城市部件普查中的应用[J].测绘科学，2016(11).

[11] 宋宏勋，马建，王建锋，等.基于双相机立体摄影测量的路面裂缝识别方法[J].中国公路学报，2015(10).

[12] 李华良，杨绪坤，沈东升，等.铁路工程信息模型分类和编码标准研究[J].铁路技术创新，2015(3).

收稿日期：2019-12-17

作者简介：刘利民，男，大学本科，教授级高工.E-mail:7941013@qq.com

匝道，是两条相对独立的对向行使匝道，既无主次从属关系也不存在分流、合流，是并行关系，均单独设计，即平纵横各自与连接线顺接。半直连式匝道和环形匝道路基宽度一般均为 9.00 m，而连接线路基宽度一般为 16.50 m，两条匝道的总宽度为 18.00 m，比连接线的路基宽度宽了 1.50 m，说明两条匝道在靠近连接线接点路段的路基宽度相冲突，路基设计表、连接部图、连接部标高数据图和路基横断面设计图等图表均只能手工或半自动方式处理。

根据 JTG/T D21—2014《公路立体交叉设计细则》，连接部的定义是“匝道与交叉公路之间、主线相互之间或匝道相互之间相连接的部位，包括分、合流车道连接路段及鼻端”。因此，从理论上来说，喇叭形互通的喇叭头位置并不属于连接部的范畴。因此，设计中未按连接部的方式进行设计也在情理之中。

2　参数化自动设计新方法

JSL—路线专家系统实现了互通式立体交叉连接部的参数化自动设计，能解决主线之间、匝道之间、主线与匝道之间的连接部参数化自动设计，也解决了匝道出入口与主线（或匝道）之间路拱线的自动设计，且设置简单、明了。

在实际生产中，发现设计人员对喇叭形互通的喇叭头仍然采用原始的手工或半自动方式来设计。经回顾研发过程，发现在系统研发时主要针对分流部和合流部的连接部设计，并未考虑喇叭形互通喇叭头位置的处理。经深入研究与尝试，喇叭形互通的喇叭头可以用 JSL—路线专家系统当做连接部来实现参数化自动设计。主要处理方法如下。

2.1　连接线前置处理

在喇叭形互通的喇叭头位置，两条匝道一般均设置相同的超高，作为连接部设置时，两条匝道同坡成一个坡面。当与匝道相接的连接线无中央分隔带时，作为连接部处理无问题。当与匝道相接的连接线有中央分隔带时，中央分隔带横坡一般为零，喇叭头作为连接部处理后，内侧匝道与外侧匝道同坡（包括中央分隔带宽度），外侧匝道的内侧路缘带边缘（对应原中央分隔带外边缘）位置与原中央分隔带外边缘位置会存在高差（图 1）。如匝道设置 6%的超高、连接线中央分隔带宽度为 1 m 时，两者的高差为 6 cm。这将导致一侧匝道与连接线路面无法顺接，必须进行技术处理。

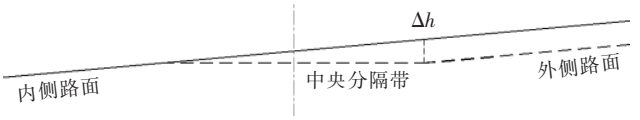

图 1　作为连接部时中央分隔带的变化

一般情况下，设置中央分隔带时，设计高程在中央分隔带边缘。将半直连式匝道和环形匝道作为连接部设计时，为解决匝道与连接线同坡相接时的高差问题，必须设置渐变段将连接线的设计高程渐变至路基中心线位置，即将中央分隔带宽度渐变至零、设计高程位置由中央分隔带边缘渐变至路基中心线。虽然如此，该宽度渐变，并不改变行车轨迹，也不改变路基宽度（甚至中央分隔带依然可以设置），只是为了方便匝道进行连接部设置而进行的技术处理，因此渐变段长度无需按照中央分隔带渐变的要求设置，渐变长度取 10 m 即可满足要求。如设计速度 40 km/h 的连接线和匝道在接点处设置 6%超高时，1 m 中央分隔带按 10 m 渐变，此时宽度渐变率为 1/20，该渐变率并不真正进行宽度变化，大小无要求；由设计高程位置变化在原中央分隔带边缘引起的附加纵坡为 $0.5\times6\%/10=0.3\%\approx1/333$，该渐变率应小于设计速度 40 km/h 的最大超高渐变率 1/150。

2.2　连接部的设置方法

经过研究，喇叭形互通的喇叭头位置当做连接部处理，有按分流部处理和按合流部处理两种方法。作为主线的匝道不能随便设置，必须按照匝道相对于主线是流出还是流入来区分。

2.2.1　按分流部处理方法

按分流部处理时，半直连式匝道和环形匝道的角色如下：在 A 形喇叭形互通中，环形匝道（图 2 中 C 匝道）是流出，可作为连接部的匝道，而将半直连式匝道（图 2 中 B 匝道）作为连接部的主线；在 B 形喇叭形互通中，半直连式匝道（图 3 中 B 匝道）是流出，可作为连接部的匝道，而将环形匝道（图 3 中 C 匝道）作为连接部的主线。

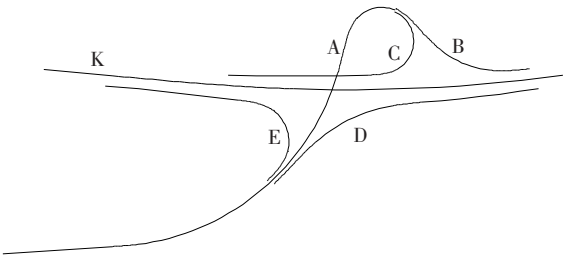

图 2　A 形喇叭互通

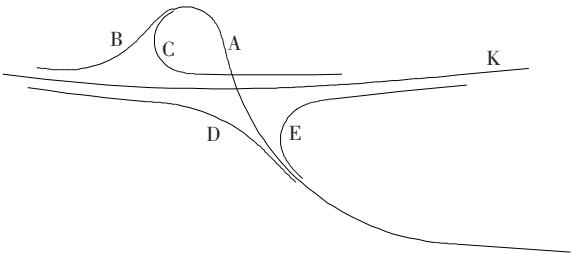

图 3 B 形喇叭互通

按分流部处理时，B 匝道和 C 匝道的平面设计与常规设计一致。作为流出匝道(图 2 中 C 匝道或图 3 中 B 匝道)，平面设计时需注意坡长是否足够，不够时需调整平面线形。平面设计完成后，进行连接部设置，这样鼻端对应的环形匝道和半直连式匝道桩号均自动计算。纵断面设计时，作为主线的匝道(图 2 中 B 匝道或图 3 中 C 匝道)，与连接线接坡；作为匝道的匝道，在鼻端与作为主线的匝道接坡。至此，喇叭形互通喇叭头位置的设计实现了自动化，后续的路基设计表、连接部设计图、连接部标高数据图和路基横断面设计图等图表均可以自动输出，无需手工修改。

2.2.2 合流部处理方法

按合流部处理时，半直连式匝道和环形匝道的角色如下：在 A 形喇叭形互通中，半直连式匝道是流入(图 2 中 B 匝道)，作为连接部的匝道，环形匝道(图 2 中 C 匝道)作为连接部的主线；在 B 形喇叭形互通中，环形匝道(图 3 中 C 匝道)是流入，作为连接部的匝道，半直连式匝道(图 3 中 B 匝道)作为连接部的主线。除了半直连式匝道和环形匝道的角色不同之外，其余的设计方法与按分流部处理的方法完全一致，在此不再重复叙述。

2.3 路拱线的自动设置

在 JSL－路线专家系统中，连接部的路拱线实现了自动设置。无论连接部是否设置路拱线，主线的横坡均按正常设置。当连接部不设置路拱线时，采用主线横坡，匝道鼻端范围内不设置超高；当连接部设置路拱线时，匝道鼻端范围内设置超高即可。

系统根据匝道的横坡设置，自动判断路拱线的起讫桩号，在连接部设计图和连接部标高数据图中绘制路拱线，在路基设计表和路基横断面设计图中体现路拱线的位置。路拱线由系统根据规则自动生成，接近于光滑曲线，较人工随意绘制的直线、圆曲线或折线要合理得多。路拱线的自动设置在喇叭形互通的喇叭头位置同样适用。

3 设计流程

喇叭形互通喇叭头的两条匝道可以用分流部或合流部设计。以图 3 B 形喇叭形互通为例，用分流部设计的流程如下：

(1) 连接线 A 匝道平纵面设计完成后，进行 B、C 匝道的平面设计。

(2) 将 C 匝道作为主线，进行分流部参数设置。

(3) 将 C 匝道与 A 匝道、K 线接坡，然后拉坡。

(4) 将 B 匝道作为匝道，B 匝道与 C 匝道、K 线接坡，然后拉坡。

(5) 若 B 匝道坡度超过规范要求，需要调整平面，重新拉坡。

(6) 若 B 匝道、C 匝道横坡不同，在 B 匝道鼻端前设置超高横坡，即可在连接部等设计图中自动设置路拱线。

(7) 在连接线 A 匝道终点倒推 10 m 设置渐变段将中央分隔带宽度由 1 m 渐变为 0 m。

用合流部设计的流程与上述流程完全相同，A 形互通的喇叭头设计与 B 形互通也相似。

4 应用

某高速公路设置了一个 B 形喇叭形互通(图 3)，A 为连接线，B 匝道为环形匝道，C 匝道为半直连式匝道，D、E 匝道为直连式匝道。B 匝道长 217.227 m，C 匝道长 452.689 m。A 匝道与 B、C 匝道的接坡坡度为 3.20%。

采用常规方法设计时，B 匝道 BK0＋000～BK0＋217.227 路段的纵坡为－3.200%/166.596 m、－1.303%/50.631 m；C 匝道 CK0＋145.007～CK0＋452.689 路段纵坡为－1.488%/201.145 m、＋3.200%/106.538 m。

在 B、C 匝道平面设计完成后，即可按分流部进行连接部设置(图 4)。此时，渐变段长度为 0，辅助车道长度为 0，减速车道由系统自动计算得到，设置主线的偏置值和匝道的偏置加宽值及其渐变段长度、硬路肩鼻端和土路肩鼻端半径后，系统自动计算得到鼻端对应的主线和匝道桩号。连接部设置完成后，即可进入纵断面设计。C 匝道作为主线，纵坡与常规方法设计一致；B 匝道作为匝道，BK0＋000～BK0＋029.525 段作为连接部范围，BK0＋029.525～BK0＋217.227段

连接部设置

◉分流部　○合流部　　更新

	主线名称	匝道名称	类型	渐变段长度	辅助车道长度	减速车道长度	C1	Z1	C2	Z2	小鼻端半径R1	大鼻端半径R2	小鼻端主线桩号	小鼻端匝道桩号	大鼻端主线桩号	大鼻端匝道桩号
12	互通-C	互通-B	平行式	0.000	0.000	27.262	1.000	10.000	0.000	10.000	0.600	1.500	425.427	29.525	410.406	45.869
*																

图 4　C 匝道作为主线的连接部设置

的纵坡为－3.200％/139.514 m、－1.303％/48.188 m。该方法与常规设计方法的设计高程略有差异，如 BK0＋100 处，常规设计方法的设计高程为 27.390 m，而此时设计高程为 27.437 m，高差为＋0.047 m。

按合流部设计时，连接部设置与按分流部设置基本相似(图 5)。连接部设置完成后，即可进入纵断面设计。B 匝道作为主线，纵坡与常规方法设计一致；C 匝道作为匝道，CK0＋425.427～CK0＋452.689 段为连接部范围，CK0＋145.007～CK0＋425.427 段纵坡为－1.488％/202.184 m、＋3.200％/78.236 m。该方法与常规设计方法的设计高程也略有差异，如 CK0＋350 处，常规设计方法的设计高程为 27.415 m，而该方法的设计高程为 27.389 m，高差为－0.026 m。

在该互通中，B匝道作为主线，C匝道和B匝道之间设置了路拱线。BK0＋000～BK0＋041 横坡由 6％渐变至 2％，而 C 匝道 CK0＋319～CK0＋452.689 横坡始终保持 6％不变。系统根据该设置确定路拱线的起讫桩号并在连接部设计图(图 6)等图表中反映。

连接部设置

○分流部　◉合流部　　更新

	主线名称	匝道名称	类型	加速车道长度	辅助车道长度	渐变段长度	C1	Z1	小鼻端半径R1	大鼻端半径R2	小鼻端主线桩号	小鼻端匝道桩号	大鼻端主线桩号	大鼻端匝道桩号
1	互通-B	互通-C	平行式	29.525	0.000	0.000	1.000	0.000	0.600	1.500	29.525	425.427	45.869	410.406
*														

图 5　B 匝道作为主线的连接部设置

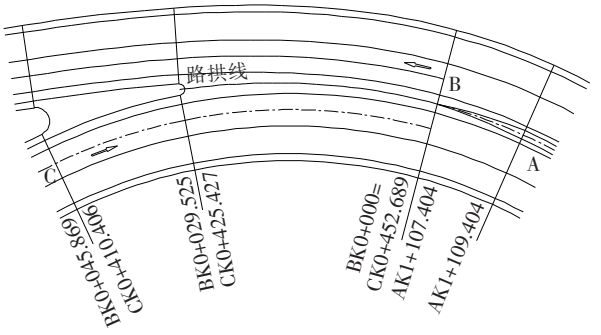

图 6　喇叭头的连接部设计图

由此可见，无论以哪条匝道作为主线，连接部的位置完全一致；采用连接部设计和不采用连接部设计，纵坡差异小，对工程规模的影响可以忽略。

5　结语

从喇叭形互通的喇叭头位置采用分流部和合流部两种处理方法可以看出：该处确实不属于连接部范畴，不具备一般连接部的加减速车道。但通过充分利用 JSL－路线专家系统的灵活性，一方面实现了喇叭头包括路拱线在内的参数化自动设计，提高了喇叭形互通的设计效率；另一方面拓展了 JSL－路线专家系统的适用范围。该方法不仅适用于喇叭形互通，也适用于部分苜蓿叶形互通。更进一步地说，JSL－路线专家系统已彻底解决了两条设计线相接而路基宽度冲突时参数化自动设计的行业 CAD 难题，不局限于一般的连接部。因此，作为一种行之有效的设计方法，具有较大的实际推广应用价值。

参考文献：

[1]　JTG/T D21－2014　公路立体交叉设计细则[S].

[2]　中交第二公路勘察设计研究院有限公司. JSL－路线专家系统用户手册[Z]，2019.

[3]　西安经天交通工程技术研究所. 纬地道路辅助设计系统教程(HintCAD V6.0～7.0)[Z]，2016.