

香港公路学会两岸四地交通发展论坛

作者资料

邝子宪，道路安全研究小组

胡家建，道路安全研究小组

联络人：邝子宪先生，主席

地址：香港半山太子台4号地下A

联络人电话：91913149；**电邮：**kzx@netvigator.com

公路隧道口的交通安全设计框架

摘要

为了优化走线及减少环境影响，越来越多公路以隧道形式兴建。隧道口路段是隧道管道与公路横断面改变的过渡区，但同时需要满足一系列交通营运、事故和养护管理、路侧安全及环境美化的要求。妥善协调各种需要有助降低隧道口严重事故的风险，更有利营造自然美观的隧道口。本文章通过分析香港公路隧道口设计，总结各项隧道营运需要与道路安全原则，提出隧道口整体安全设计的框架供设计及安全审计人员参考。

引言

为了优化走线及减少环境影响，越来越多公路以隧道形式兴建。隧道口路段是隧道管道与公路横断面改变的过渡区，同时要应付一系列交通营运、事故和养护管理的需要。长隧道及车流量大的城市干线公路隧道有更多的营运养护要求。此外，不少隧道口附近设置立交，增加设计的复杂性。不少城市干线公路隧道日交通量达50,000车以上，隧道口车速一般为70到100公里。将所有功能、设施与标志聚集在隧道口路段，容易顾此失彼，产生各种安全隐患。复杂的隧道口环境容易令驾驶员迷惘，增加操作难度，也不利于营造自然美观的道路环境。理想的隧道口需要通过细密统筹，不单妥善应付各种营运、安全与养护需要，同时能完全符合路侧安全的严格要求。本文章通过分析香港公路隧道口设计，总结各项隧道营运需要与道路安全原则，提出隧道口整体安全设计的框架供设计及安全审计人员参考。

城市干线公路隧道口的设施包括：

- 通风机楼及消防控制点
- 管理站、应急及养护车辆停泊站
- 人行地道、管理车辆地面或分离的通道及掉头设施
- 坏车超限车临时停泊处
- 管道切换车道
- 爬坡车道与隧道口/隧道内的立交

- 监控系统设施，包括车道信号灯、信息牌、交通灯号、超高检测、活动栏杆、可变限速标志及临时标志设备储存设施
- 固定标志标线，包括指路标志、限速标志、隧道长度牌及指令禁令标志

隧道口设施的目的是通过以下功能提升营运及安全：

- 紧急及预定的管道/车道关闭
- 紧急事故应变方案
- 违章超限车辆处理
- 实施单管道行车模式
- 日常或事故引发的堵车管理
- 应急及养护车辆通行管理
- 通风机电系统的营运养护管理
- 监控与交通设施的营运养护管理

隧道口可涉及多种事故类型（表 1），如迎头对撞、追尾、碰撞工作人员及碰撞路侧障碍物。一些高速道路隧道口车祸后果非常严重。2008 年 9 月 4 日，浙江金华至温州高速公路大巴撞击隧道口挡墙，造成最少 10 人死亡。香港一处隧道口也曾发生造成四人死亡的撞击分叉口事故。

表 1 隧道口事故类型

事故形态	典型情况	涉及交通工程的风险因素
迎头对撞	失控车辆越过中央带 单管道行车时失控	中央带开口狭窄，太长，没用护栏 管道切换车速太快
追尾	撞上前方减慢车辆 撞上前方车龙	平面进出中央带的管理车辆干扰车流 隧道管道/车道封闭等措施实施太突然 实时预警信息不足
碰撞工作人员	撞倒正在横过公路管理人员 撞倒正在实施车道封闭人员 失控车辆撞上工作区域	管理人员需要直接横过正常交通流 车道封闭程序需要人员暴露于交通流 工作区没有护栏保护
碰撞路侧障碍物	失控车辆撞上路侧障碍物 失控车辆撞上路侧护栏终端或分叉口障碍物	防护不足的门架，标志支架，照明杆，车辆等 不合适的护栏终端 不恰当的护栏细节 没有消能功效的管道/车道封闭闸门

现时欧盟、美加和澳洲对公路路侧安全相当重视，根据挪威车辆防护系统手册 231E (2011)，70 公里以上车速公路路侧安全区定义为包括路肩的外侧 8 至 10 米范围或中央带 16 至 20 米范围。安全区范围不可存在没有护栏防护的危险表面、障碍物或对向车流。英国道路防护系统指引 TD19/06 (2006) 列出的典型公路障碍物包括建筑物、栏杆、照明杆、标志杆以至直径超过 25 公分的树干。长期停泊的营运车辆及护栏终端也属于危险障碍物。香港现时有 14 座营运中的公路隧道，另外还有 7 座隧道正在建造或设计。通过谷歌街景功能，我们分析了正在营运隧道的路侧安全状况，结果显示隧道口普遍存在路侧安全隐患，包括：

- 存在缺乏保护的交叉口（图 1）
- 存在危险障碍物
- 护栏没有连接
- 护栏渐变角度太大
- 狭窄的管道切换开口没有足够防护（图 2）
- 路侧安全区长期停放车辆（图 3）
- 工作区没有足够保护



图 1 缺乏消能防护的交叉口（来源：谷歌街景）



图 2 狭窄的管道切换开口没有足够防护（来源：谷歌街景）



图 3 路侧安全区的营运车辆（来源：谷歌街景）

隧道口安全设计原则

为了促进安全，隧道口路段应减少管理需要对交通流的干扰和冲突，包括工作人员及管理车辆的活动。驾驶者在数百米前方应该可清晰见到洞口，整体布局应尽量简洁清晰及避免车辆误闯专用通道。美观自然的隧道口和安全目标是一致的。过量、凌乱及颜色纷扰的设施及标志会破坏洞口的建筑特色和美化设计，也无助安全。此外，不少隧道需要经常实施管道或车道封闭，需要结合优良的智能监控流程及现场管理，减少迎面对撞和追尾事故的风险。实时信息及信号灯变化往往需要涵盖隧道口数公里以上的路段。

路侧安全

路侧环境需要避免失控车辆猛烈碰撞行人、障碍物或迎头车辆，或造成翻滚、坠落、外物插入或飞脱的设施伤及他人。一般而言，在安全区范围，路侧需要具备以下特征：

- 可安全驶过的表面或交通岛
- 安全护栏系统
- 不同的护栏类型设置过渡连接，上游护栏覆盖下游护栏
- 消能护垫（图 4）、被动安全支架

由于隧道口设施、营运需要和路侧安全要求容易发生冲突，因此应该尽早优化总体布局，选择和车祸风险匹配的护栏系统。细节非常重要，例如不同种类的护栏需要有效的过渡连接，渐变角度不可过大，避免危险的终端等。为了妥善设置护栏及消能护垫，需在设计阶段预留空间。



图 4 消能护垫（来源：谷歌街景）

隧道口设置中央开口是为了应付单管道行车需要及管理应急车辆使用。不过宽度小于 15 米的开口有很大的失控车辆越线迎头对撞风险，而沉管或回填隧道的中央岛往往不到数米。现今不少护栏厂商已经推出可快速开合的活动护栏（图 5），隧道设计人员应该掌握这类产品的最新发展。



图 5 一处隧道口的活动中央开口护栏（来源：谷歌街景）

隧道口营运养护交通

繁忙的隧道一般都会在隧道口布置管理站。应急及养护车辆停泊处需考虑进出与掉头的安全，特别是提供足够视线和加减速车道。由于驾驶者未必会预计这类车辆，应考虑使用智能信号灯或信息牌自动提供预警。此外，需要通过路侧安全原则妥善布置防护栏，避免车辆、人员及建筑物暴露在失控车辆的轨迹。

隧道口紧急停车区

设置紧急停车区的目的是让发生故障及违章，超载超高等车辆临时停泊，便利工作人员处理事件。理想的停车处应该足够两辆长车停靠，并有 5 米以上宽度。隧道内的车辆可能不察觉出口路侧停泊的车辆，因此出口停车处需要特别注意视线与停泊车辆离开时的安全。至于路侧安全，需要留意护栏渐变角度不可太大（尽可能缓于 1：15）或护栏不连贯。

隧道口行人安全

隧道口需要顾及管理人员的需要，如果中央分隔带设置营运养护设施或通风楼，需确保他们能够安全抵达工作地点。因此隧道早期设计应该提供上跨或下穿通道，同时严格规定人员使用。一些隧道口经常在晚上封闭一条管道进行养护，并使用余下管道实施对向行车。实施过程要求职员在路面放置大量临时标志，这样会令他们经常暴露于高速车流之中。较佳的方法是使用中央控制的信号灯及活动栏杆实施车道封闭，减少工作人员走到路上。此外合适的工作步行通道也是必要的，例如沿中央岛提供受护栏保护的通道。这些都必须在隧道口设计规划阶段拟定。

隧道交通控制措施

隧道口是隧道管理的把关路段，当隧道管道发生事故或进行养护，便需要在隧道口堵截车流，实施改道及提供信息。智能交通技术为公路及隧道带来很多机遇，通过可变信息牌，信号灯及控制程式可以最大程度实施自动监控，不过系统的成功有赖周详的交通工程规划，包括以下重点：

- 固定及智能标志信息必须互相配合

- 避免太密集甚至互相遮挡的标志
- 信息必须简洁、明确、可信
- 标志支架需符合路侧安全的要求

推荐建议总结

对于新建隧道，项目本身需要专门的道路安全统筹经理负责协调不同专业的设计人员，包括道路交通、机电、系统、营运、绿化美化等等。这些设计人员应先参加道路安全工程的专门培训，令大家对于安全基本原则有共同的了解。此外项目需要通过由独立专家进行的可行性，设计及预通车安全审计。至于既有隧道，我们建议隧道管理当局应该及早排查隐患并实施具体的改进方案。

我们特别推荐以下的设计理念：

- 协调有序的标志标线及信号，行车道封闭原则上先显示信息预警，车道灯关闭显示，最后才出现放置闸门栏杆等物理措施。
- 尽可能提供分离的应急及养护车辆通道，若需要设置平面交叉，便应提供加减速车道，确保视线及利用智能化信号系统发出预警。
- 隧道口车道封闭不应要求人员在缺乏保护时在车道上放置临时标志。理想的方法是使用遥控或手动的活动栏杆。此外现时一些生产商已经推出自动放置及回收交通圆锥筒的特种车辆。
- 隧道口建筑物及长期停泊的应急养护车辆必须受到护栏系统覆盖，保护职员及失控车辆人员。
- 隧道洞口封闭闸门需有效阻截车辆，但需保留空隙让应急或养护车辆通过。

在路侧安全区范围不可存在危险的障碍物。具体措施包括：

- 连贯的安全护栏系统，与靠近车流角度不应超过 1: 15（最大 1: 10）
- 在隧道口挡墙前方的安全护栏需符合较高防护级别
- 具护栏功能的中央岛开口闸门
- 减少交通岛开端，并按车速和线型条件设置安全净区或消能护垫
- 受护栏保护的养护应急车辆停泊处、办公室及工作场地
- 所有的栏杆闸门及构造必须符合撞击安全要求

图 6 显示符合路侧安全原则的整体护栏布局。当中央岛宽度只有 10 米或更小时，必须采用符合撞击规格而且容易快速开合的活动护栏。隧道口一带路段的中央岛宽度最好在 4.5 米以上，以便提供地道口及管理步道。

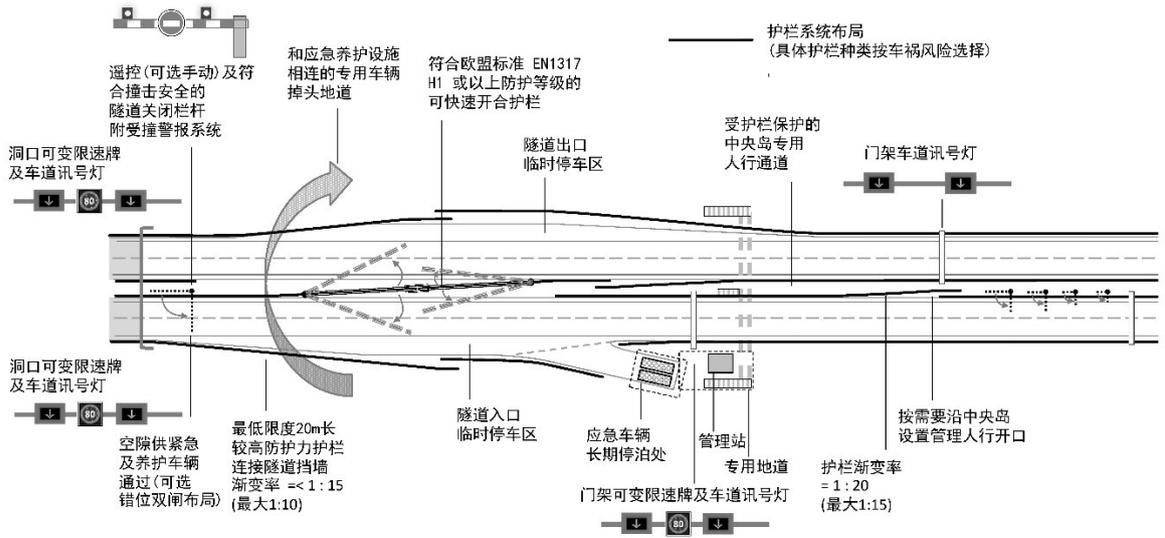


图 6 较窄中央岛隧道口典型布局

当中央带宽度达到十多米时（图 7），可以选择密集的管道切换布局，但需防止护栏渐变角度过大。设计需要使用多组消能护垫。管道切换车道目标车速为 50 公里以下，弯道半径及转角不宜太宽松，但要有一定容错空间。当中央岛宽度达到 20 米以上，设施的布置较容易混合多种路侧处理方法并加入专用加减速车道。宽阔的空间可用作营运设施，但不宜有频繁的车辆进出。

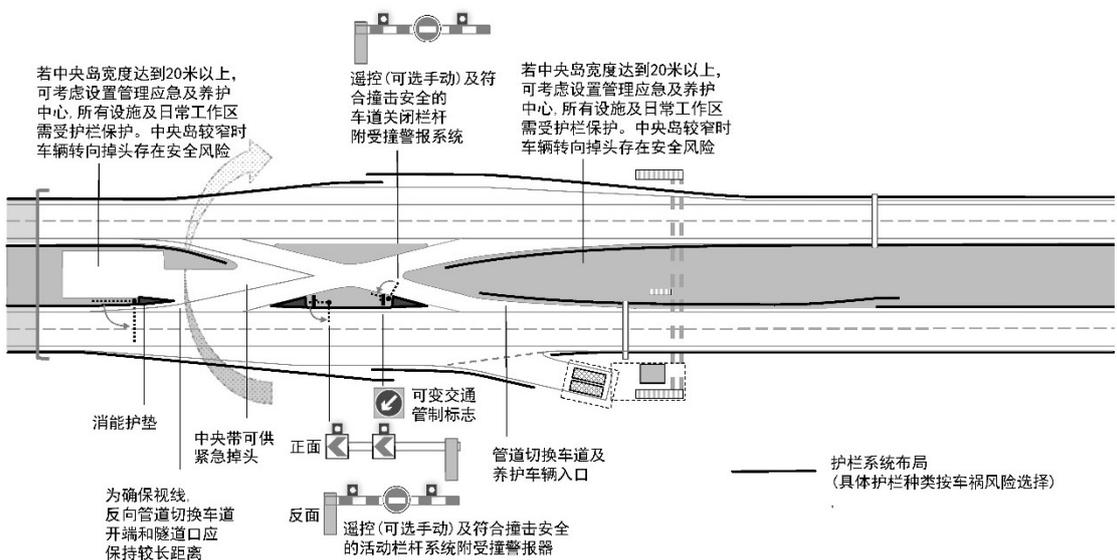


图 7 较宽中央岛隧道口典型布局

接近隧道口路段为营运监控重点控制区（图 8），除了多种监察设备，交通控制的基本要求包括门架信息牌，可变限速牌，车道灯及地面交通灯等。要注意门架之间有足够间距，通常在 200 米至 500 米，具体位置应考虑车速及线形，令驾驶者有充足视线。毗邻隧道口的门架间距需要缩减，但不宜小于 130 米。门架可能遮挡隧道洞口的建筑美化设计，需要妥善解决。

此外我们推荐一种在法国开发的 BRA 模式渐进栏杆，可减少管理人员暴露在车流之中。

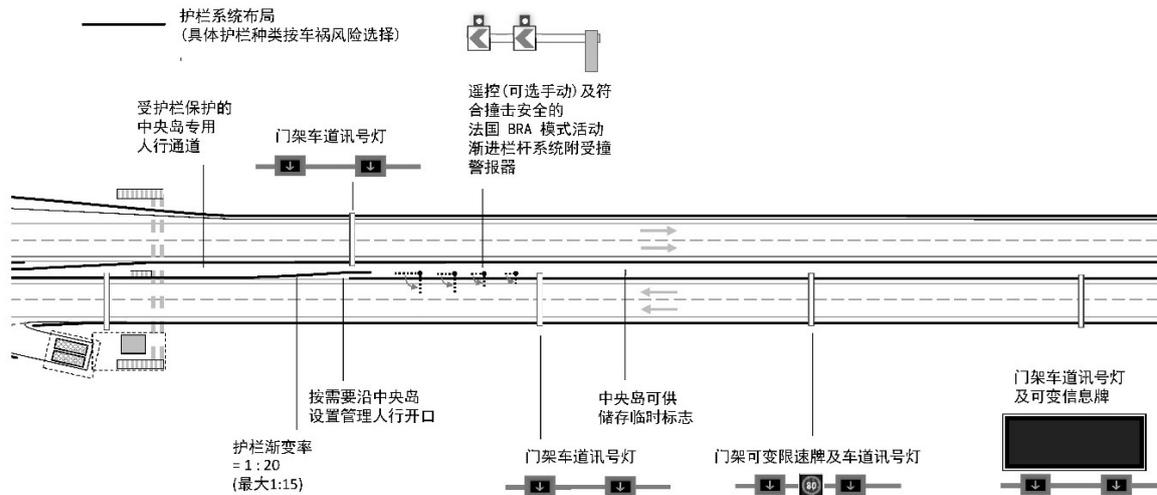


图 8 接近隧道口路段典型布局

参考资料

车辆防护系统与路侧区规范手册 231E, 挪威公路局 2011

Vehicle Restraint Systems and Roadside Areas Specification, Manual 231E, Statens Vegvesen, Norway 2011

道路防护系统, 路桥设计手册 TD19/06, 英国交通部 2006

Road Restraint Systems, Design Manual for Roads and Bridges TD19/06, Department for Transport, United Kingdom 2006

公路隧道的设计, 路桥设计手册 BD78/99, 英国交通部 1999

Design of Road Tunnels, Design Manual for Roads and Bridges BD78/99, Department for Transport, United Kingdom 1999

公路隧道封闭方案(没有经常堵车的隧道)推荐建议, 法国隧道研究中心 2002

Fermeture des Tunnels Routiers (Ouvrages sans Congestion Récurrente): Les Recommandations, Centre d'Etudes des Tunnels (Cetu), France 2002

B. Ra 车道关闭渐进活动栏杆, 法国公路技术研究部门 1998 Biseaux de Rabattement (B.Ra), Note d'information 115, SETRA-CSTR, France 1998

欧洲议会 2004 年 4 月 29 日指引 2004/54/EC 关于欧洲跨境公路网隧道的最低安全要求

Directive 2004/54/EC of The European Parliament and of The Council of 29 April 2004 on Minimum Safety Requirements for Tunnels in The Trans-European Road Network

http://europa.eu/legislation_summaries/transport/road_transport/l24146_en.htm