

## 降低成本、环境和施工影响：

### 隧道设计可持续发展的方向

黎锦雄 《[lai.steven@pbworld.com](mailto:lai.steven@pbworld.com); +852-2963-7625》

陈兆根 《[alexchan@atihk.com](mailto:alexchan@atihk.com); +852-2881-6587》

作为工程师，我们知道我们需要在规划、设计与分析方面有丰富的专业知识，才能令项目达到可持续发展目标。隧道设计就是一个例子：有效的设计可以为经济、社会以及环境带来效益。本文作者讨论了可持续发展的隧道设计的几个元素，使隧道成为可持续发展项目的可行方案。

本文的网上英文版本另外讨论了以下几点：（1）适当的隧道通风设计能减少沉管隧道的体积，（2）采用施工横坑可以优化隧道的断面，以及（3）在有工地限制时利用临时竖井可以帮助设计达到可持续发展。详情请参阅：

[http://www.pbworld.com/news\\_events/publications/network/issue\\_59/59\\_14\\_chan\\_tunnel\\_design.asp](http://www.pbworld.com/news_events/publications/network/issue_59/59_14_chan_tunnel_design.asp)

---

隧道一般比桥梁和地面的结构昂贵，因此尽管它有更能可持续发展的条件，但仍然可能因为成本的考虑而不被采用。在文中我们探讨了几种不同形式的、成本低且效果好的隧道通风设计。这些设计可以为隧道提供更多可行方案，特别是要求可持续发展的项目。因为从项目的使用周期来看，隧道对环境和社会的长远效益往往可以超越初期高昂的成本。

## 公路隧道：使成本与环境影响减至最低

### 隧道通风系统

一般来说，隧道通风系统可分为 3 种主要型式：纵向，半横向与全横向。

以新加坡全长 15 公里的地下道路系统作为例子，其双向双线车道设计的环形隧道环绕新加坡的商业中心区，共有 17 个地下入口和 16 个地下出口。栢诚是整个项目的概念设计咨询顾问。作为可持续发展的设计，栢诚推荐了一个有定点排风的纵向综合系统。在一些策略性选址的通风大楼内配备了便于检查与维修的轴流式风机。进风通过一个 Saccardo 喷嘴，以固定速度按交通流量方向射入每段隧道，使之形成纵向气流，在下一个通风区的起点前排出。这个概念除了能显著地节约初期投资（2 亿美元）以外，还利用车辆的活塞效应，使隧道自行诱导通风，从而降低能量的消耗和运行费用。

## 工地限制

在人口稠密的市区建造隧道往往十分困难，特别是位于软土和很接近地面的隧道。在这些情况下重迭隧道可解决土地问题。澳洲悉尼市的东部分流干道便是一例。该干道长 6 公里，包括一条 1.7 公里长的主要隧道和 600 米长的 Dacey Todman 地下道（见图 1）。栢诚负责该项目的隧道通风设计。



图 1 东部分流干道的重迭隧道设计

受地面空间限制的主要隧道设计采用创新的双层方案，每层各有双向三线车道，以倾斜入口和倾斜出口连接。由于在峒口处有非常严格的环保要求（废气排量必须为零），所以在靠近两个峒口处各建造一座通风大楼，以排出隧道内的废气，然后将废气垂直地高速排到大氣中。这是悉尼市主要的可持续发展项目之一，因为它利用了一条狭窄的走廊连接人口稠密的北悉尼市和南悉尼市，并且在峒口排放最少量的废气，维持了附近地区的良好空气质素。

## 通风大楼的位置

栢诚是香港 3.8 公里长的大榄隧道的机电项目设计者。该隧道是全世界最长的双向三线车道隧道。两座通风大楼（两端峒口各一座）共安装了 24 台轴流式进风机和 15 台轴流式排风机。设计采用了半横向通风系统，在隧道长度的 1/4 与 3/4 处各设定点排气。下列的特点能节省成本，亦令施工过程缩短了十二个月：

- 在交通限界上方拱顶空间加建混凝土板，用作通风管道。
- 在隧道长度的 1/4 与 3/4 处设定点排气，以减少峒口的废气排放。
- 由于隧道位于郊野公园之下，因此不容许采用垂直通风管道排风，及进行相关的地盘平整和道路工程。在两端峒口另建 1/4 长度的通风隧道解决了这个问题。

## 铁路隧道：节省成本的设计亦能节约能源

### 环控系统

热带地区的轨道运输系统主要采用两种环控系统概念：封闭系统（站台与隧道相连）及站台屏蔽门系统。站台屏蔽门系统的概念已经在东南亚的几个项目中采用。它将站台的空调环境与隧道内炎热潮湿的空气隔离，并且改善列车诱导的通风以促进隧道通风，和减少隧道通风风机运行时渗透入车站的风量，因此能节约可观的能源。站台屏蔽门系统的总体效果实现了一个可持续发展的设计：减少设备所占的空间和购置机电设备的费用，降低环控系统与隧道通风系统的运行费用，以及改善了车站的环境与安全。

### 列车设备

列车设备对于隧道设计与有关的机电系统设计有显著的影响，特别是下列几项造成的影响：

#### 刹车方法

在变阻式与再生式两种刹车方法中，再生式属于可持续发展的设计，因为它可以将列车动能转变为电流输送给其它附属设备，而其余电流可以通过牵引电力系统，输送给在附近运行的其它列车，或反馈列车站的供电系统。相对之下，变阻式刹车由一排电阻器组成，将动能转为电能后以热能的形式散发至隧道内，将隧道内的空气加热。

#### 列车内的空调系统

安装在列车底部或顶部的空调器对隧道空气温度以及随后的隧道通风要求有显著的影响。当列车停止运行时，热量会累积在隧道空间内，较热而密度较低的空气会上升，并积聚在隧道的拱顶。

安装在列车顶部的空调器将使问题更加恶化，因为空调器排出的热量逐步累积在隧道顶部，使下层的空气越来越热，这样导致当隧道通风系统运行时，下游空调器的冷凝器进口温度亦可能比隧道平均空气温度高出约摄氏 7 度。与此比较，安装在列车底部的冷空调器由于隧道内的气流分层分布现象，可以降低交通阻塞时的风量要求，从而减少有关的隧道及相关设施要求。

### 瞬变压力

当列车进入或离开洞口时由于车箱的渗透性会产生压力波，可能影响车厢内或站台上的乘客，因此有必要对压力加以控制，以保证乘客有一个安全和舒适的环境。能减缓瞬变压力而又节省成本的设计包括：控制火车在洞口的车速，采用减压气闸或减压竖井，使用隔离墙，和采用专门的洞口设计等等。

## 结论

隧道是可持续发展的交通基础设施设计的一个重要部分。人们往往可以容易地解决可持续发展三要素中的其中两项，即对环境与社会的影响。而工程师的义务是开发能节省成本的设计以满足第三要素，即经济影响。

【 完 】

---

黎锦雄在栢诚（亚洲）公司负责运输系统隧道与公路隧道的通风领域工作已 16 年。他是栢诚的高级主任工程师，并刚刚完成香港西铁项目的隧道通风系统。联系：+852-2963-7625；[lai.steven@pbworld.com](mailto:lai.steven@pbworld.com)

陈兆根曾是栢诚（亚洲）公司的副总裁。他曾参与完成多个亚洲和欧洲的运输隧道与公路隧道项目，并在 2003—2004 年度担任香港工程师学会会长。联系：+852-2881-6587；[alexchan@atihk.com](mailto:alexchan@atihk.com)

本文原文刊登于 2004 年 11 月的栢诚杂志《PB Network》第 59 期。

### 相关网站：

- 澳洲的东部分流干道 [www.easterndistributor.com](http://www.easterndistributor.com)
- 香港大老山隧道 [www.tctc.com.hk](http://www.tctc.com.hk)
- 香港西区隧道 [www.westernharbourtunnel.com](http://www.westernharbourtunnel.com)
- 香港三号干线大榄隧道 [www.route3cps.com.hk](http://www.route3cps.com.hk)
- 建筑期刊和建筑承造杂志的编辑小组联合出版的「香港十五个最杰出工程项目」  
[www.cityu.edu.hk/CIVCAL/book/misc\\_book.html](http://www.cityu.edu.hk/CIVCAL/book/misc_book.html)
- 香港机场核心计划 [www.info.gov.hk/archive/napco/p-coren.html](http://www.info.gov.hk/archive/napco/p-coren.html)