Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng

News & Focus

世界上最长的隧道

Lance A. Davis

Senior Advisor, US National Academy of Engineering

经过20年的努力，世界上最长、最深的隧道——57.1 km长的圣哥达(Gotthard)基线隧道——于2016年6月1日正式开通[1,2]，如图1[3,4]所示。这条隧道实际为双洞隧道，穿过瑞士阿尔卑斯山的圣哥达山，连通了北部的埃斯特费尔德(Erstfeld)与南部的博迪奥(Bodio)。通过这条高速度、高通量的客货铁路线，有效地连接了北欧与南欧。这条隧道每年的运输量相当于100万辆货车每年的运输量，因此可实现铁路的快速运输，对环境产生积极的影响。隧道最深的位置在阿尔卑斯山脉下。

这条隧道完全由瑞士公民出资修建，并于1992年经全民投票通过审批，共耗资120亿美元。预计每天将有约260辆货运列车和65辆客运列车通过隧道，以客运列车的最高时速(250 km·h^{-1})计，大约需要20 min [5]。隧道开通时，通过抽奖选中的一批乘客和一些公众人物率先体验了隧道铁路。目前，铁路测试仍在继续，预计将于2016年12月完全对公众开放服务。届时苏黎世和米兰之间的客运行驶时间将为3 h左右，比目前的行驶时间(>4 h)要少[5]。电气化列车的运行电压为15 kV，频率为16.7 Hz。

日本53.9 km的青函隧道是目前全世界第二长的隧道，英国和法国之间50.5 km的英法海底隧道则为世界第三。虽然这令人印象深刻，但重要的并不是隧道的长度本身，而是它们的功能。阿尔卑斯山脉是欧洲一道天然的贸易壁垒，自古罗马时期起，许多商人和国家就开始为穿越阿尔卑斯山脉运送货物付出努力。那时，在冬季越过山道运输是不可能的。1882年出现了重大突破——首条供火

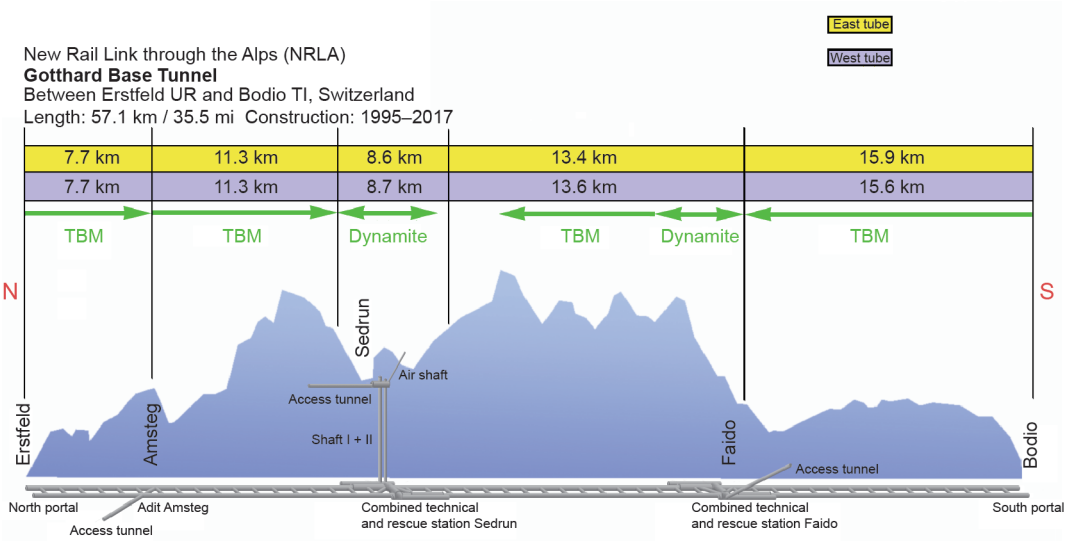

图1. 圣哥达基线隧道示意图。穿过阿尔卑斯山脉的新修铁路线(简称NRLA)；绿色箭头代表开挖方向 [3,4]；TBM：隧道掘进机。

2095-8099/© 2016 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company.
This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).
英文原文: Engineering 2016, 2(3): 263–264
引用本文: Lance A. Davis. The World's Longest Tunnel. *Engineering*, http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2016.03.013

车通行的圣哥达隧道修建完成。这条隧道较短，但海拔较高，因此人们需要迂回上山才能到达该隧道。1980年，又修建了一条用于公路交通的隧道，这两条隧道在20世纪末期都处于最大运输负荷状态。新修的圣哥达隧道是一条几乎平直的隧道，而且在长途货运方面取代了上述的两条隧道。隧道北入口的海拔[5] 为 460 m，南入口为312 m。

对于这样的长隧道来说，运行安全是一个关键问题[5]。第一大安全要素是双洞单线隧道的施工。两条隧道管每隔325 m以横向通道相连通，以便必要时可从一条隧道管快速撤离至另外一条。在隧道全长的三分之一处，即法伊多(Faido)站点和塞德龙(Sedrun)站点，每条隧道管内均设有应急停车站，而隧道管之间的连通则是在六条隧道的衔接下实现的。风扇为应急停车站提供新鲜空气，热烟气通过抽气口排出，正压确保了隧道中空气的无烟状态。

隧道施工是个工程壮举。该工程使用了四台海瑞克撑靴式硬岩掘进机，每条隧道管各两台，从北端和南端分别掘进。首先修建了四条进口隧道，使施工可以在埃斯特费尔德、阿姆施泰格(Amsteg)、塞德龙和法伊多(图1)四处同时启动。随后在博迪奥又增加了第五条进口隧道。地下岩石情况多变，当岩体较软时，机器推进非常缓慢，但在最佳条件下，这种巨型的直径10 m、长400 m的隧道掘进机每天可推进40 m，创下了纪录。隧道修建方阿尔卑斯枢纽计划圣哥达股份公司(Alp Transit Gotthard AG)于2010年10月15日打通了东边的隧道管，并于2011年3月23日打通了西边的隧道管。为了修建两条隧道管，共雇佣了2600名工人，其中9人不幸遇难，这一令人悲伤的事实也足以证明这项工程的危险性和困难程度。

这些掘进机本身也是一项工程奇迹。刀盘对掌子面施加的压力为26 t(2.55×10^5 N)。岩屑由安装在刀盘上的滚刀接住，通过刀盘落下，再通过传送带运至机器后方。两台钻机为刀盘附近的钢锚栓钻出多个4 m深的孔。随着机器钻头向前移动，在其后方，由钢网或钢环或混凝土环制成的加强支撑结构，通过大型机械手安装在一起，形成一条连续的隧道管，来支撑被钻的岩体。部分岩屑重达2.83×10^7 t，它们被运离机器钻头，然后进一步压碎，并用来制作加强管中环形段的混凝土拱。掘进机的操作动画详见参考文献[6]。

References

[1] Imogen Foulkes. Gotthard tunnel: world's longest and deepest rail tunnel opens in Switzerland [Internet]. 2016 Jun 1 [cited 2016 Sep 1]. Available form: http://www.bbc.com/news/world-europe-36423250.

[2] Imogen Foulkes. Swiss Gotthard rail tunnel—an engineering triumph [Internet]. 2016 Jun 1 [cited 2016 Sep 1]. Available form: http://www.bbc.com/news/world-europe-36416506.

[3] Gotthard Base Tunnel [Internet]. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc. [cited 2016 Sep 1]. Available form: https://en.wikipedia.org/wiki/Gotthard_Base_Tunnel.

[4] User: Cooper.ch [Internet]. San Francisco: Wikimedia Foundation Inc. [cited 2016 Sep 1]. Available form: https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Cooper.ch.

[5] The Gotthard Base Tunnel—questions and answers [Internet]. [cited 2016 Sep 1]. Available form: http://files.gadmin.ch/84697?CFID=546c515f-46e4-4621-92fe-9fec017cfab1&CFTOKEN=0.

[6] AlpTransit Gotthard AG. Animation tunnel drilling machine—Gotthard Base Tunnel [Internet]. 2012 Jun 12 [cited 2016 Sep 1]. Available form: https://www.youtube.com/watch?v=LdIm-ebJOfI.