

液压凿岩台车开挖技术应用及经济分析工作探讨

魏志宏

(中铁隧道集团有限公司, 河南 洛阳 471009)

摘要:为促进液压凿岩台车开挖技术在长大铁路隧道建设中的推广应用和经济分析工作的开展,对液压凿岩台车开挖技术的应用和经济分析工作要点进行探讨,对液压凿岩台车开挖技术中的超挖成因和经济分析工作基础资料收集等关键问题进行阐述和分析。通过探讨分析可知,应用液压凿岩台车开挖技术建设长大铁路隧道,技术上是可行的,经济上是合理的。

关键词:长大铁路隧道; 液压凿岩台车; 开挖技术; 经济分析

DOI: 10.3973/j.issn.1672-741X.2012.04.004

中图分类号: U 455

文献标志码: A

文章编号: 1672-741X(2012)04-0454-05

Application of and Economical Analysis on Tunnel Excavation by Hydraulic Rock Drilling Jumbos

WEI Zhihong

(China Railway Tunnel Group Co., Ltd., Luoyang 471009, Henan, China)

Abstract: The key points of the application of and economical analysis on tunnel excavation by hydraulic rock drilling jumbos are discussed. The causes for the overbreak induced by hydraulic rock drilling jumbos and the collection of the basic data needed for economic analysis are presented and analyzed. The analysis results show that hydraulic rock drilling jumbos are suitable, rational and economical for the excavation of long railway tunnels.

Key words: long railway tunnel; hydraulic rock drilling jumbo; excavation technology; economical analysis

0 引言

我国应用 TBM 和盾构建造铁路隧道技术始于 20 世纪 90 年代末和 21 世纪初,在我国已经建成的铁路隧道中,用 TBM 和盾构建造的铁路隧道累计长度不超过 150 km,大量的铁路隧道是用钻爆法建成的。钻爆法具有经济、高效和地质适应能力强等优势^[1],在我国的铁路隧道建设中显示出了强大的生命力,尤其是 20 世纪 90 年代改进创新的多功能台架配风动凿岩机开挖工法,凭其方便快捷、简洁经济的优势成为近期隧道施工的主流。

虽然多功能台架配风动凿岩机的开挖工法在铁路隧道建设中应用广泛,但因其投入人员多、劳动强度高、作业环境条件差、能源消耗高、钻进速度慢等^[2],在长大铁路隧道建设中的应用受到局限,已无法满足目前铁路建设和隧道施工的需要。而液压凿岩台车以其动力能耗小、能量利用率高、综合效率显著等优

势^[3],逐渐成为隧道施工机械化的推广设备。

隧道施工机械化需要技术和资金作为支撑,20 世纪 80 年代,衡广铁路大瑶山隧道建设期间,曾对瑞典阿特拉斯科普柯(ATLAS COPCO)凿岩台车开挖双线隧道技术和工程经济状况展开了广泛研究。在其后的一段时间内,由于受经济发展水平的限制,设备购置费用和使用成本在工程应用中不能得到合理补偿,液压凿岩台车开挖技术的发展和研究工作受到影响。

当前,经济状况有了很大改善,加之铁路隧道建设标准进一步提高,人们的环保节能理念和职业健康意识进一步增强,应用凿岩台车开挖技术修建长大铁路隧道成为一种必然的选择。为提高铁路隧道施工机械化水平,2008 年颁发了铁建设函[2008]777 号《关于铁路隧道施工机械配置的指导意见》,明确要求相应的概算编制应与指导意见相适应。这意味着采用凿岩台车等大型施工设备修建铁路隧道将会得到合理的费用补偿,从根本上扫除了长期以来严重影响发展凿岩

收稿日期: 2012-04-19; 修回日期: 2012-06-20

基金项目: 铁道部科技司重大研究计划项目(2009G005-F)

作者简介: 魏志宏(1971—),男,河南开封人,2011年毕业于华中科技大学工程管理专业,本科,工程师,从事工程技术和经济管理工作。

台车开挖技术的障碍,使隧道液压凿岩台车开挖技术的推广应用具有更广阔的发展前景。

20世纪80年代我国对凿岩台车开挖铁路隧道的技术研究^[4-5]和经济分析^[8-9]主要是针对全液压凿岩台车和双线隧道开挖进行的。目前的凿岩台车修建技术有了进步,客运专线隧道在有效断面、工程量计算规则和技术标准等方面也有了一些变化,有必要对新型凿岩台车开挖客运专线隧道技术的应用和经济分析工作进行研究,使工程技术与经济变化协调推进。本文对隧道施工机械化配套技术中的凿岩台车开挖技术和经济分析工作进行一些探讨,总结凿岩台车开挖技术的发展和进步。

1 隧道液压凿岩台车开挖技术应用要点

1.1 关注凿岩台车的选型

液压凿岩台车的发展经历了半液压、全液压、电液控制、半电脑、全电脑和全智能等几个阶段。半液压凿岩台车20世纪60年代在我国出现,当时的凿岩台车只是台车大臂采用了液压技术,而凿岩机仍是风动的。到20世纪70年代中期,我国市场上开始出现全液压凿岩台车^[4](大臂和凿岩机均采用液压技术)。目前,实际引进应用的以全液压和电液控制凿岩台车居多。应用中的凿岩台车主要有瑞典阿特拉斯科普柯(ATLAS COPCO)、山特维克(SANDVIK,原TOMROCK)和日本古河等品牌。

隧道凿岩设备的选择应综合考虑单口掘进长度、断面大小、围岩地质情况和施工方法等。一般来说,单口掘进长度大于3 km,围岩稳定性较好的中大断面隧道,其爆破钻孔应选用液压凿岩台车;单口掘进长度小于3 km,有赶工需求时也可选择液压凿岩台车。

选择液压凿岩台车应进行充分的比选,使设备选型最适合隧道作业。按精度和智能化程度考虑,一般应选择全电脑和全智能的凿岩台车,但因其购置价格和管理维修要求较高,考虑实际经济状况和管理维修水平,目前国内施工企业选择全液压、电液控和半电脑凿岩台车的居多。

1.2 重视液压凿岩台车开挖的超欠挖控制

1.2.1 液压凿岩台车超欠挖情况和原因分析

在20世纪80年代建设衡广复线时期,瑞典阿特拉斯科普柯(ATLAS COPCO)多臂液压凿岩台车在应用中取得了较好的效果。大瑶山隧道进、出口工区的平均掘进速度均达到140 m/月,最高掘进速度达到200 m/月^[5]。21世纪初期在温州至福州、合肥至武汉等铁路客运专线中,应用SANDVIK T12和ATLAS 353E凿岩台车也取得了平均掘进速度220 m/月的成绩^[6]。

应用凿岩台车在取得高速掘进的同时,造成的超

挖也是很大的。调查统计显示,衡广复线铁路某双线隧道典型超挖地段(DK1989+024.5~+524.5)的平均线性超挖高达35 cm;贵广客专铁路某双线隧道V级围岩典型超挖地段的平均线性超挖达到31.7 cm。造成超挖大的主要原因分析如下。

1.2.1.1 凿岩台车自身结构因素

用凿岩台车钻孔的外插角比用手持风动凿岩机钻孔的外插角大,周边钻孔较深是超挖大的主要原因,这种超挖是凿岩台车自身结构造成的,属于技术性超挖,是无法避免的。

1.2.1.2 围岩状况因素

当施工地段岩性差、围岩破碎、节理发育时,爆破后炮眼痕迹保存率低,岩体表面受爆破影响,找顶刷帮时发生掉块易引起超挖。隧道围岩状况千变万化,这种超挖是无法避免的,应区分围岩情况合理考虑。一般情况下,围岩稳定性越差,爆破炮眼痕迹保存率越低,超挖量越大。

1.2.1.3 设计和施工因素

按规范要求,设计和施工时应考虑围岩收敛变形量、拱架预留沉落量、测量允许误差、施工允许误差、超前支护(管棚、锚杆、小导管)轮廓线下的楔形坍塌等,这种超挖属于技术性超挖,是施工时难以避免的。

1.2.1.4 人为因素

因管理水平差、技术素质低、责任心缺失、爆破设计不合理、划线精度不够、技术措施不到位等原因造成较大超挖的情况较多,这些人为因素对超挖的影响是客观存在的。如受“宁超勿欠”观点的影响,测量人员在划线时将开挖轮廓线人为外放5~10 cm,影响了凿岩台车钻孔开孔精度,导致超挖增大;台车操作人员对外插角的控制不够严谨,往往凭目测决定台车的就位和外插角大小,随意性很大,无形中也会增加超挖;地质条件变化时,爆破设计和施工人员未根据岩层的节理裂隙发育情况,及时调整爆破设计,导致装药量过大,影响围岩稳定性,尤其是周边眼装药集中度过大,降低炮眼痕迹保存率,增大超挖。施工中应通过加强管理、提高作业人员技术素质和严格施工纪律等措施,将这种人为因素造成的超挖量降至最低。

1.2.2 液压凿岩台车开挖外插角分析

以Axera T12电液控凿岩台车为例对外插角的成因和影响因素进行分析。Axera T12台车配置的TF500推进梁和HLX5T凿岩机实物和断面尺寸如图1和图2所示。

Axera T12电液控凿岩台车的推进梁长度为7 125 mm,凿岩机最大钻孔深度为5 235 mm,钻杆中心至凿岩机顶面的距离为87 mm。理想状态下隧道的开挖成型应该是台阶状的,钻孔过程中,必须保证凿岩机沿推

进梁移动时能顺利通过开挖循环接头处的“台阶”,不能出现碰撞或阻挡凿岩机的现象。



图 1 钻臂和凿岩机实物

Fig. 1 Drilling boom and rock drilling jumbo

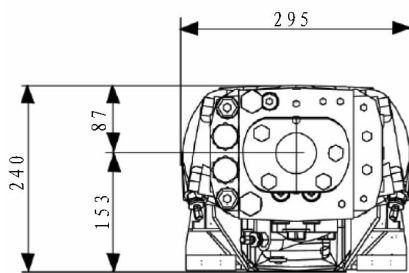


图 2 钻臂和凿岩机断面尺寸(单位: mm)

Fig. 2 Dimension of drilling boom and rock drilling jumbo(mm)

当隧道围岩稳定时(I级和II级围岩),开挖后不施作喷射混凝土初期支护。为保证凿岩机顺利通过“台阶”,凿岩机顶面应至少与“台阶”处的岩面保持3~5 cm的距离,则钻杆中心与台阶处的距离应保持为11.7~13.7 cm。当隧道围岩较稳定时(III级围岩),开挖后需施作5 cm厚的喷射混凝土初期支护,则钻杆中心与台阶处的距离应保持为16.7~18.7 cm。如果开挖进尺为3.8 m,则其外插角分别为 1.8° ~ 2.1° 和 2.5° ~ 2.8° 。如隧道围岩稳定性较差(IV级和V级围岩),开挖后需施作拱架和喷射混凝土后再钻孔,受拱架和喷射混凝土的影响,外插角会更大。

外插角的大小与凿岩台车液压凿岩机结构尺寸和推进梁范围内的隧道支护状况密切相关。影响外插角的主要因素是液压凿岩机的结构尺寸和初期支护的施作情况。一般情况,钻孔时的外插角与凿岩钻机尺寸和台车推进梁范围内的支护厚度成正比。

1.2.3 液压凿岩台车开挖超挖控制

在衡广复线大瑶山隧道建设过程中,应用凿岩台车开挖取得了较高的掘进速度,缩短了建设工期;同时,隧道超挖也是非常大的。贵州至广州客运专线某隧道使用凿岩台车开挖也揭示了其快速施工和超挖过大的矛盾。如何在取得快速施工的同时有效控制隧道超挖,提高其经济合理性,是凿岩台车开挖技术能否推

广应用的关键。

要控制凿岩台车产生的超挖,应合理选择掘进循环进尺,不能为追求掘进速度而一味地采用深孔爆破^[7]。采用全断面深孔爆破时,主观上要重视对超欠挖的严格控制。在大瑶山隧道进口工区DK1989+524.5~+632.1进行了全断面掘进控制超挖试验,试验中严格执行控制超挖的9条措施,运用TQC质量管理办法不断改进,结果大大降低了超挖量(除个别循环外,平均指标达到了设计标准,平均循环进尺4.68 m,平均炮眼利用率93.5%,平均炮痕保存率70.5%,最大线性超挖为24 cm),这充分说明通过加强管理,深孔爆破的超挖是可以控制的^[5]。

1.3 注重配套设备的选择和相关技术的跟进

在隧道掘进循环中,钻孔和出碴2个工序耗时最多。以客运专线隧道III级围岩(断面约120 m²)开挖为例,掘进进尺为4.2 m时,整个循环时间约16 h,一般双台车联合钻孔耗时约3 h,出碴耗时约5 h,仅此2项就占到了50%;故出碴设备必须配强,否则会制约凿岩台车综合功效的发挥。对于围岩稍差的地段,施作初期支护耗时较多,要妥善选择初期支护的施工设备,尽可能配套选用混凝土喷射机械手和拱架安装机等高效的初期支护设备。

为提高爆破效果,控制超欠挖,要不断研究改进与凿岩台车开挖密切相关的爆破技术。凿岩台车开挖一般都配套采用无轨运输,大量的内燃装运设备使洞内空气污染加剧,隧道施工通风技术的研究改进要及时跟进。总之,隧道施工机械化是多种先进设备和配套技术的集成,必须配合协调,同步推进,这样才能不断提高隧道建造水平,取得好的经济效益和社会效益。

1.4 做好人员培养和技术培训

隧道施工机械化的推广应用和研发改进需要靠人去实施,在引进先进设备和技术的同时要做好对新技术的消化吸收,通过学习和培训不断提高操作人员、技术人员和管理者的水平,在实际应用中总结经验教训,在管好用好的同时进行不断的研发改进。

2 液压凿岩台车开挖技术经济分析工作要点

液压凿岩台车开挖技术的经济分析工作随着铁路隧道施工设备的引进不断开展,20世纪80年代修建大瑶山隧道时期铁道部基建总局就组织了双线隧道大型机械化施工预算定额的编制工作,经过多年的编制和修改,最终形成了《铁路双线隧道工程大型机械化施工预算定额》^[8-9]。随着隧道施工新设备的应用、设备配套技术的发展及工程造价管理体制的变化,原来编制的隧道工程机械化施工预算定额的局限性不断显现,已无法满足当前的需要,有必要继续开展隧道施工机械化技术经济分析工作。

2.1 注重凿岩台车经济技术数据积累和收集工作

Axera T12 电液控三臂凿岩台车目前的单台购置价格接近 900 万元(电脑台车的购置价格更高),装机功率约 200 kW;现行铁路工程机械台班费用定额(2005 年度)中取定的三臂凿岩台车预算价格是 688 万元,装机功率是 150 kW。

应认真收集整理凿岩台车的购置价格和大修、经修、维护保养等费用和技术指标,以满足确定液压凿岩台车的机械台班费用和经济分析工作需要。

2.2 做好凿岩台车开挖隧道的资源消耗统计

应详细统计凿岩台车开挖隧道的钻具、配件、油料、水电、火工品等材料消耗,尤其要结合隧道的围岩分类和开挖方法(全断面法或台阶法)进行分类统计,以满足隧道开挖定额的编制需要。

做好这些基础工作不但有利于企业的成本核算工作,同时也有利于行业定额的及时编制和修订,意义重大。

2.3 做好凿岩台车开挖隧道的超挖统计和研究分析

目前铁路技术规范中只对风动凿岩机钻凿 3 m 以内浅孔爆破的超挖限值进行了规定,而对液压凿岩台车钻凿 3 m 以上深孔爆破的超挖限值没有明确的规定^[10]。有关学术文献对凿岩台车开挖超挖值有不同见解:大瑶山隧道平均线性超挖值为 30 cm;张滩隧道出口的深孔爆破试验(45 个循环)得到的结果是拱部平均线性超挖为 41.1 cm,边墙部平均线性超挖为 26.3 cm;大相岭隧道凿岩台车开挖的平均线性超挖为 5 cm^[11]。

隧道超挖产生的洞碴要运走,多超挖部分还要用喷射混凝土或模注混凝土回填,对铁路隧道的建造成本影响很大。为合理确定液压凿岩台车形成的超挖限值,满足工程经济分析的需要,有必要对用凿岩台车开挖的铁路隧道工点进行跟踪研究,用科学的方法合理确定液压凿岩台车开挖隧道的超挖限值。做好这项工作,对凿岩台车开挖隧道的经济分析研究十分重要。

现场统计隧道超挖情况一般是采用测量划线的方法,笔者认为这种做法精度较差,尤其是用以考核开挖班组和测量人员的工作效果时通常还会存在人为因素,不能准确反映开挖区段的超挖情况。可采用统计喷射混凝土和二次衬砌混凝土的回填数量来反算隧道平均线性超挖数量,这样数据较为准确,同时也能综合反映架立钢拱架所占超挖体积。

2.4 做好凿岩台车开挖隧道的进度统计和循环时间分析

建造隧道是在一定时间和空间内集成了人员、材料、设备等生产资源和建造技术,这些资源和技术互相

影响,最终决定了隧道的建造效率。进行工程经济分析不但要认真研究凿岩台车开挖的作业时间和效率,还要一并研究其他相关工序的作业时间和效率,以及各工序互相作用后形成的隧道建造综合效率。在一定的资源配置下,循环时间和施工进度基本能决定隧道的产值和效率,很有必要对隧道进度进行认真地统计分析。

隧道开挖作业的循环时间在一定意义上综合了测量、钻孔、装药爆破、出碴、初期支护的施作以及超前地质预报等多道工序的影响,在一定程度上决定了开挖掘进的综合效率。综合进度指标包含了开挖掘进、仰拱施作、防排水处理和二次衬砌等工序间的互相干扰,以及停工检查的影响,最终能决定建造铁路隧道的综合效率。因此,做好凿岩台车作业时间和效率测定,做好相关开挖循环时间和综合进度的研究分析,对液压凿岩台车开挖技术的经济分析工作来说是必需的,也是非常重要的。

2.5 做好凿岩台车开挖隧道的资源配置和优化分析

搞好液压凿岩台车开挖配套技术经济分析工作,要对其配套条件下的资源配置了解清楚,并在不违背劳动保护,确保施工质量安全的前提下尽量优化资源配置,以缩小液压凿岩台车开挖配套技术与风动凿岩机开挖配套技术在经济上的差距,进一步彰显凿岩台车开挖配套技术的优势。

3 结论与讨论

1)应用液压凿岩台车开挖配套技术建造长大铁路隧道,虽然比多功能台架配风动凿岩机建造隧道增加一些投资(约 20%),但其施工速度可大幅度提高(约 40%)。如果考虑因掘进速度提高从而减少辅助坑道的费用和隧道提前投入运营的收益,应用液压凿岩台车开挖配套技术建造长大铁路隧道是可行的。

2)应用液压凿岩台车开挖配套技术建造长大铁路隧道,不仅能大幅度提高施工速度,同时也具有节省劳动力、劳动强度低、安全风险小、环保节能效果显著等优点。

3)在对隧道工程进行经济分析时,不能单纯就某一道工序本身进行经济分析,而应该全面考虑这道工序对工程建造费用造成的影响。比如:凿岩台车开挖造成超挖量增加,对其超挖增加部分需要考虑用喷射混凝土和二次衬砌混凝土回填;在对凿岩台车开挖和多功能台架配风动凿岩机开挖的经济分析进行对比时,尽量做全面的分析对比,必须考虑凿岩台车超挖较大引起的费用增加问题;若考虑了固定空压机站的房屋费用,还必须考虑液压凿岩台车的停机棚和修理车间的费用,以免因片面的对比分析而出现不正确的结论。

鉴于目前的铁路技术规范没有关于液压凿岩台车开挖超挖限值的规定,建议尽快立项研究解决液压凿岩台车开挖超挖限值规定的问题,以免影响铁路机械化施工预算定额的编制,避免液压凿岩台车开挖隧道的概预算编制出现较大的差异。

液压凿岩台车开挖尤其适用于坚硬稳定的岩体,对开挖较为软弱的岩体优势不太明显。长大铁路隧道的地质情况错综复杂,在实际掘进中往往不同级别的围岩相互穿插,造成开挖工法的不断转换,要想不断提高液压凿岩台车开挖的适用性和综合效率,有必要对大断面软弱围岩条件下的施工技术进行创新和研究,这是广大隧道建设者需要面对和解决的课题。

参考文献(References):

- [1] 郭陕云. 隧道掘进钻爆法施工技术的进步和发展[J]. 铁道工程学报,2007(9): 69-76. (GUO Shanyun. Progresses and developments of tunnel construction technology with bored blast method[J]. Journal of Railway Engineering Society,2007(9): 69-76. (in Chinese))
- [2] 张双亚, 刘东亮, 朱琴声. 凿岩台车全断面快速掘进技术[J]. 矿山机械,2007(6): 36-39.
- [3] 韩静玉. 双台车快速掘进技术在方斗山隧道施工中的应用[J]. 隧道建设, 2006,26(3): 67-69. (HAN Jingyu. Rapid tunnel excavation technology by means of twin drilling jumbos: Case study on construction of Fangdoushan tunnel [J]. Tunnel Construction,2006,26(3): 67-69. (in Chinese))
- [4] 铁道部隧道工程局. 隧道施工机械简明手册[M]. 北京: 中国铁道出版社,1984.
- [5] 铁道部隧道工程局. 大瑶山长大铁路隧道施工新技术[M]. 北京: 中国铁道出版社,1988.
- [6] 康宝生. 液压凿岩台车在客运专线隧道工程中的使用与思考[J]. 隧道建设,2007,27(5): 95-98,101. (KANG Baosheng. Application of hydraulic rock drilling jumbos in construction of passenger-dedicated railway tunnels[J]. Tunnel Construction,2007,27(5): 95-98,101. (in Chinese))
- [7] 马宏伟. 液压凿岩台车开挖隧道控制超欠挖施工技术[J]. 隧道建设,2009,29(2): 254-256.
- [8] 左光大, 罗竹卿. 铁路双线隧道工程大型机械化施工预算定额: 报批稿[M]. 北京: 中国铁道出版社,1992.
- [9] 刘青峰, 单向华. 铁路双线隧道工程大型机械化施工预算定额[M]. 北京: 中国铁道出版社,2001.
- [10] 雷升祥, 崔永杰. 对液压凿岩台车在隧道施工中推广问题的浅析[J]. 铁道标准设计,2003(S1): 114-116.
- [11] 臧万军. 三臂凿岩台车与手持凿岩机在大相岭隧道应用中的比较[J]. 公路工程,2011(4): 12-15,25. (ZANG Wanjun. Comparison of tri-arm rock drilling jumbo and hand rock breaker in Daxiangling tunnel application[J]. Highway Engineering, 2011(4): 12-15, 25. (in Chinese))

国外城市排水系统——巴黎

巴黎经常下雨,人们出门都习惯带伞,然而在巴黎的雨天里行走时,湿鞋的情况却很少见,更鲜有发生由于下雨积水导致的交通堵塞。这些,与巴黎地下那条世界闻名的下水道是分不开的。

巴黎的下水道均处在巴黎市地面以下 50 m,巴黎人前后共花了 126 年的时间才修建成功,水道纵横交错,密如蛛网,总长 2 347 km,规模远超巴黎地铁,难怪雨水到了地面便迅速了无踪影。

巴黎有 26 000 个下水道盖,其中 18 000 个是可以进人的。巴黎总共有 400 名下水道维护工,600 名地面作业工,负责整个巴黎下水道网络的维护,包括:清扫坑道、修理管道;寻找、抢救掉进或迷失在下水道中的人;用水淹的方式灭鼠;监管净化站等等。

今天的巴黎下水道总长 2 347 km,相当于巴黎到伊斯坦布尔的距离。按沟道大小,可分为小下水道、中下水道和排水渠三种,每天有 120 亿 m^3 的水经此净化排出。这些下水道宛如这座大城市的消化系统,成为世界上最负盛名的下水道。现在,巴黎的下水道像河一样可以行船。昼夜灯火通明,不失为旅游的好去处。

这样的市政工程,虽然初期投资相当巨大,但是在后期的使用过程中却节省了大量的人力和物力。任何一条管线泄漏、短路或者其他故障,工人都可以随时进入地下维修。

巴黎下水道既是一项伟大的工程,也是法国独特艺术和文化的混合体。从 1867 年世博会开始,就陆续有外国元首前来参观,现在每年接待 10 多万游客。这是一个能够完全与巴黎美丽市景相媲美的、充满文化的地下世界。

由于巴黎下水道系统享誉世界,下水道博物馆已成为巴黎除埃菲尔铁塔、卢浮宫、凯旋门外的又一著名旅游项目。能成为旅游景点,下水道肯定能容下很多游人,无比宽敞,可以行走奔跑(这种情形在西方电影里经常出现),有通畅的排气系统、有纯净空气,不会、不能臭气熏天。

巴黎的下水道博物馆从外表看并不特别,就是一个普通的下水道井盖。但是掀开这个井盖进入地下,就仿佛进入了一个地下宫殿。巴黎下水道虽然修建于 19 世纪中期,但就是用现在的眼光看,这些高大、宽敞如隧道般的下水道实在是不同凡响。聪明的巴黎人就利用这些有着 100 多年历史的下水道建成了下水道博物馆。人们在这里游览,可以全面了解巴黎的地下排水系统。

(摘自凤凰网 http://talk.ifeng.com/course/youxiukecheng/detail_2012_07/23/16224773_0.shtml)