

铁路隧道工程的现状和发展

张 弥 刘维宁

(北方交通大学)

秦淞君

(中国铁路工程总公司)

摘 要 通过对国内外铁路隧道工程的发展历程作了简要回顾,指出铁路工程隧道发展有两大趋势:①隧道越修越长;②跨越水域时采用水底隧道的可能性越来越大,以此改善铁路运输条件,提高列车速度和运输能力。同时,本文也对我国铁路隧道的建设成就和差距作了简要说明,并分别指出了钻爆法、掘进机法和水底隧道工程中尚需要解决的重大技术问题。

关键词 隧道工程 铁路隧道

1 铁路隧道的建设现状和趋势

纵观当今国内外交通隧道的发展,有两个非常明显的趋势:即隧道越修越长,而且以隧道方式跨越水域的例子越来越多。这是经济的迅速发展,对交通运输提出了更高要求的必然结果。

铁路和公路隧道是交通线路上的重要工程结构物,它的建设投资巨大,但却具有重大的经济、技术和社会效益。尤其在修建高速铁路和高速公路时,采用长隧道来克服地形障碍,能使线路平直、长度缩短,并避免不良地质条件对线路的不利影响,往往能有效地提高线路标准。因此,长隧道方案无论对于越岭线还是河谷线,都起着决定性作用。另一个重要方面是,修建隧道,更加合理地保护自然环境,避免开挖路堑,少破坏地面植被,对水土保持和维持生态平衡,以及抵御自然灾害和战争威胁十分有利。在跨越通航的江河、海峡时修建水底隧道也有桥梁无可比拟的优点。下面所列举的铁路隧道工程实例就能证明上述的论断。

欧洲南北三大通道之一、由德国经瑞士到意大利的铁路,在瑞士境内称为过境铁路,简称 NEAT,原来线路是在 19 世纪 80 年代修建的,当它穿过阿尔卑斯山脉时,采用展线和高位置隧道方案,即圣哥达隧道(St. Gothard Tunnel),全长 14.998km,越岭标高 1150m。后来又建成了长度为 16.322km 的公路隧道(1968 年~1980 年)。随着横越阿尔卑斯山的运输量增加(每年约增长 3.5%),目前,铁路和公路都已达到饱和。为了避免过多的汽车废气污染阿尔卑斯山谷地带,瑞士联邦政府决定:从 2004 年起将禁止

欧洲各国的货运汽车穿越瑞士境内,重修一条行车速度为 200km/h 的过境铁路,主要用来装运货运汽车通过瑞士国境,其通过能力为每天 240 对。由于高速过境的限坡为 10‰,限制了展线的可能性。经全国公民投票,赞成修建长度为 57km 的圣哥达山麓隧道(Gothard Bass Tunnel)穿越阿尔卑斯山,其越岭高度降低了 650m,缩短行车时间约 40min,在这段线路上基本没有开挖路堑,没有破坏地面植被,保护了阿尔卑斯山的生态环境。该隧道已在 1995 年开工,预计 2007 年可全部完工,历时约 11.5 年,投资超过 300 亿瑞士法郎。

众所周知的日本上越铁路上的“三代”清水隧道(第一代清水隧道长 9.702km,第二代新清水隧道长 13.490km,第三代大清水隧道长 22.22km)更是最好的例子。随着航运事业的发展以及两次大战的洗礼,人们对跨越水域究竟应采用何种方案问题有了新的思考,那就是在江河下游或海峡处,当河岸不高且河滩较宽,通航较密或高烈度地震区,或城市景观要求不允许建造长大引桥,或附近有飞机航高要求时,水底隧道方案远优于桥梁方案。例如在香港维多利亚港已建成了 5 座水底隧道而无一座桥梁。特别有趣的是日本横跨东京湾的横断道路,全长 15.1km,它是由三部分组成:路堤(包括人工岛)长 0.9km,桥梁(浅海部分)长 4.4km,水底隧道(主航道下面)长 9.8km。

又如由丹麦通往瑞典穿过厄勒海峡的固定联络线,全长 16km,它包括一条双向双车道的公路和一条时速为 200km/h 的双线高速铁路。这条联络线由 1 个人工填筑的半岛(长 900m),一座在多格登航道(通航宽 600m,水深 10m)下的水底隧道(长 3520m),1 个人工群岛(长 2500m)和 1 座带引桥的悬索桥(总长 9700m)组成。由于这条联络线的中线

收稿日期:1999-10-25

位于凯斯楚普飞机场的1条起降航道之下,不允许建造超过航高要求的建筑物,而跨过多格登航道的桥梁必须有较大的净跨(超过600m),无论是采用斜拉桥或悬索桥都需要有很高的桥塔,这就否决了桥梁方案而采用水底隧道方案。

从上述实例中可知,国外现代铁路隧道工程发展的趋势是越修越长,应用的场合越来越广,不仅在山区,而且也包括水下。

新中国成立50年来,我国交通隧道建设的发展趋势和国际上是一致的,长大隧道越来越多,水下隧道越来越引人注目。我国已成为世界上拥有铁路隧道最多,总延长最长的国家之一,至1998年底,正式运营隧道为5334座,总长度为2564.133km。已建成居世界双线铁路隧道第10位的京广线大瑶山隧道(长14.295km),即将建成(1999年9月贯通)居世界单线铁路隧道第9位的西康线秦岭铁路隧道(长18.459km)。同时,高等级公路隧道的里程也在逐渐增加。99年10月23日贯通的华蓥山高速公路隧道已达当前国内最长记录(长4706m双线)。规划中的雅攀高速公路泥巴山隧道长达8450m。19km长的秦岭公路隧道也已进入招投标阶段。采用隧道跨越水域方面,长期以来的桥隧之争,在上海3座黄浦江隧道,广州珠江隧道和宁波甬江隧道顺利运营的结果面前,国内工程界正在转变遇水架桥的老观念,酝酿着在长江下建造若干座2000m以上的交通隧道,来缓解两岸交通压力而不是以进一步牺牲航运能力为代价。

从国内外长大隧道的建造经验来看,要成功地成长大隧道和特殊隧道的修建任务必须具备以下几个基本条件:

(1) 精湛的工程地质和水文地质勘探设备和技术

一般来说,长大隧道埋深都比较大,地应力比较高,可能遇到的地质条件变化也大。而施工方法、机械设备、施工组织、工期和造价都与工程地质和水文地质条件直接相关。因此,隧道工程地质和水文地质勘察水平是体现隧道科技水平和修建能力的重要标志。故此,世界各国都在花大力气发展先进的勘探设备和相应的软件,其中包括超长的,可以自动控制钻孔方向的钻探设备,以及大深度、高分辨率的物探设备及精确的数据处理软件。例如,上面提到的圣哥达山麓隧道,为了探测Piora地槽的构造、位置及特性,曾采用了一台由计算机控制的微型掘进机挖掘勘探坑道,由山坡上按事先设计好的路径一直开挖到预定地点,勘探坑道总长度达5.7km。据统计,物探的费用仅为钻探的1/2~1/3,所需时间为其1/10。但应指出,物探的精度除取决于接受设备的分辨率外,还依

赖于信号处理和判释软件的完善程度。据报道,国外山区地震反射技术的勘探深度已超过1200m,美国EG&G公司为ES-2401地震仪专配的地震反射数据处理软件的判释精度可达95%以上。还应指出,依靠事先的勘探工作,按照目前技术水平,尚很难完全搞清隧道工程所赋存的环境条件,包括地质环境、地应力环境、水文环境等,所以国外也非常重视发展开挖面前的地质超前预报技术,其中最直观的方法就是采用水平钻孔技术,它无需特殊的处理软件,根据岩样即可直接判断围岩情况,而且遇到大储水构造时,还可通过水平钻孔直接排放。但钻孔的速度较慢,影响施工时间过长,所以力求每个钻孔尽可能钻得长。目前国际上最长的水平钻孔已达2150m,在一般地质条件下,可以稳定在600m~700m。物探方法如垂直地震剖面法(VSP)、和隧道地震剖面法(TSP)在国外发展较快,目前的预报距离可达100m以上,对不良地质体的位置、规模、产状、位置误差一般不超过2%~3%,并可对其岩性及含水情况进行预测。

(2) 快速施工的能力

隧道工程工作面少,施工环境恶劣,这是限制修建长隧道的控制因素之一,如在施工速度方面不能有所突破,势必影响长、大隧道建设的发展,据文献记载,美国费拉蒂赫德单线铁路隧道长10.6km,采用钻爆法施工,最高月进尺398m,平均为288m/月;挪威芬塞单线铁路隧道长10.5km,采用钻爆法施工,最高月进尺440m,平均为360m/月;日本五里峰双线铁路隧道长15.2km,采用钻爆法施工,最高月进尺281m,平均为166m/月,以上均指单口成洞速度。瑞士费尔艾那单线铁路隧道长19.052km,北口采用直径为7.6m的TBM施工,单口月平均成洞429.6m;英法海峡单线铁路隧道采用直径为7.6的TBM施工,法侧北线最高月进尺1106m,平均为664m/月,南线最高月进尺1177m,平均为685m/月,英侧平均月进尺北线667m,南线764m。

(3) 较高的施工机械化配套能力

提高隧道施工速度的根本途径,就是提高隧道施工机械化、自动化水平。众所周知,世界上一些修建隧道较多的国家,如瑞典、瑞士、德国、意大利、奥地利、日本,都能设计制造适应于各种地质条件、隧道断面尺寸的配套施工机械。适用于双线隧道的四臂钻孔台车;用于单线隧道的门架式钻孔台车;用于岩石隧道的各种直径的TBM;用于软土隧道的各种直径的盾构;适用于有轨运输的挖装机、大功率的电瓶车、大容积的梭式矿车;适用于无轨运输的装载机、载重车,低回弹率的湿喷机,全自动的喷混凝土机械

手等等。

(4) 科学的施工管理制度和方法

实践证明,由于隧道施工环境的特殊性,即使有先进的机具装备,而没有科学的施工管理制度和方法,也无法达到快速施工的目的。科学而严格的管理制度包括:招标投标制度、风险管理制度、设计和施工监理制度、施工质量管理保证标准(ISO9002)、用工制度、资金管理制度、竣工验收制度等等。欧洲专门出了一本杂志《Tunnel Management International》,其主要内容除了讨论隧道工程的运营管理外,还刊登大量有关投资风险管理、资金管理、施工管理等文章。施工管理还应包括严格和先进的监测系统,如全自动监测记录预警系统,它可以随时自动地提供围岩的动态信息,以便及时采取技术措施防止围岩坍塌、冒水等事故的发生。

2 我国铁路隧道建设的主要成绩及存在的差距

随着技术经济条件的改善,我国铁路隧道的施工速度也在逐年提高。1960年初完工的川黔线凉风垭单线隧道长4.27km,双口平均月成洞118.6m,其中1959年曾创造双口月平均成洞达197m的记录,凉风垭隧道的施工速度,代表了我国50~60年代采用钻爆法施工的最好成绩。1997年初完工的南昆线米花岭单线隧道长9.392km,进口端月平均成洞105.7m,出口端月平均成洞106.08m。1994年11月26日至1994年12月25日,曾创造双口月成洞769m的最高记录。米花岭隧道的施工速度代表我国目前单线铁路长隧道的施工水平。

国产的隧道施工配套机构,如MH178三臂钻孔台车:适用于有轨运输的LZL-120立爪装碴机、12t电瓶车、14m³梭式矿车,适用于无轨运输的10吨自卸汽车、ZL-30C装载机;TK-961湿喷机等基本上可满足隧道机械化施工的需要。

在长大隧道地质勘测中采用了综合勘探手段,同时应用了野外测绘、遥感判释、大地地磁法、航空重磁法、地震反应法、水压致裂地应力测试法、微构造地应力分析等,把传统方法和现代手段相结合,取长补短,能更好地查清隧道所在区域的地质情况。国内自行研制的开挖面超前地质预报技术,如:负视速度法、极小偏移距高频反射连续剖面法、水平声波面法、地质雷达法等物探仪器和软件,其预报距离亦可达70m左右,误差一般不超过5%。

在设计方面,1999年9月,我国已正式实施了

包括以概率理论为基础的极限状态设计法在内新的《铁路隧道设计规范》(TB10003—99),处于世界各国隧道设计规范的前列。

综上所述,就钻爆法施工而言,我国隧道工程在机械化程度、修建速度、长大隧道的修建能力等方面可以说与国际先进水平相差无几,有些方面如突破困难地质条件的能力、设计规范的水准等还处于国际领先水平。目前,我们的差距主要表现在:隧道施工机械设计、制造、配套能力低。到目前为止,我国尚无一座现代化的隧道施工机械制造厂,在施工方面取得好成绩的几座著名隧道,如大瑶山隧道、米花岭隧道、秦岭Ⅰ、Ⅱ线隧道所用的钻爆法配套机械和TBM基本上都由国外引进,国产化尚未有重大突破;铁路隧道单口全国月平均成洞速度尚不高,长期徘徊在100m左右;有些隧道存在着严重超挖,不按规定回填,衬砌裂损,防水材料选用不当,焊缝不严,渗漏水严重以及隧道基底病害等质量问题。衬砌的裂损和渗漏水不仅会危及行车安全,恶化运营条件,而且会造成地下水流失,诱发地表下沉,对环境产生负面影响;科学技术转化为生产力的能力弱。由于种种原因,很多自行研制的、行之有效的先进设备和技术,长期束之高阁,无人使用。很多隧道工地至今还在使用早就应淘汰的机具和工艺。因此,不时造成塌方,发生严重安全事故。

3 铁路隧道建设的关键技术

在21世纪来临之际,有必要根据我们存在的差距加以总结,找出尚未解决的关键技术,争取在这些关键技术问题上有新的突破,使隧道修建技术更上一个台阶。在“九五”计划期间,我国将修建大量的铁路干线,其中包括准高速和高速铁路,例如西-宁线、珠-六线、京沪高速铁路等,在这些跨世纪的工程中,不仅有大量的长大山岭隧道,而且还可能遇到水底隧道,将会有很多技术难关需要攻克,任重道远。

3.1 钻爆法的关键技术

在长隧道施工中,钻爆法和掘进机孰优这个问题,在我国隧道工程界甚至在国际上目前尚无定论。至少可以说两种手段在现阶段是不能相互取代,而是相互补充的。当前在长隧道钻爆法施工中尚有如下一些关键技术尚未有明显的突破。

(1) 提高钻爆法的开挖成洞速度

显而易见,随着隧道长度的增加,解决开挖速度问题日益重要。近30年来,我国钻爆法施工技术的变化是巨大的,钻眼速度已由70年代以压缩空气为

动力的凿岩机的 250mm/min, 提高到现在的液压凿岩机的 3m/min。遗憾的是, 这些施工技术上的进步, 并没有将钻爆法施工的平均成洞速度提高很多, 单口平均成洞速度一直徘徊在 100m ~ 150m/月左右, 当然, 作业人员是大大地减少了。遇到长隧道, 多数是靠“长隧短打”, 即采用竖井或斜井等辅助坑道来增辟工作面, 以缩短工期, 这必然会增加工程造价。研究其原因可以发现, 钻爆法施工时, 出于安全方面的考虑, 或由于作业空间所限, 其主要工序都是顺序进行的, 不能或很少平行作业, 个别工序如钻眼、装运碴耗时过多, 交叉作业时间又很短, 还有些工序, 如装药依然依靠人工。故一个作业循环时间很长(一般需要 16 ~ 18h), 必然要影响开挖速度。只有提高整个钻眼、装运碴速度, 改顺序作业为平行作业, 才有希望消除钻爆法的根本缺点。

(2) 提高应变能力, 降低工程成本

随着地质超前预报的逐渐推广应用, 围岩预支护、预加固技术的日益成熟, 施工管理的逐步科学化, 我国隧道施工中的应变能力有了很大的提高, 尤其是在通过困难地段时造成人员伤亡的坍方事故日趋减少。但也应看到, 施工中的坍方仍时有发生, 对地质灾害如涌水、突泥、岩溶、岩爆的预报仍是不够准确、及时。目前已掌握的应变和控制措施尚不够有力, 或代价过高, 耗时过多, 因此, 需要开发出一套快速、价廉、有效的预加固、预支防措施。

(3) 深埋隧道施工作业环境条件和安全技术

长隧道一般埋深较大, 如西康线秦岭隧道, 最大埋深在 1600m 以上。深埋隧道的地质环境有许多特点, 并给施工作业带来严重影响, 这些特点为: ①温度高, 地温梯度大致为平均 12℃/300m; ②原始地应力大, 普遍存在岩爆和应力片落现象; ③地下水压高, 会加剧地下水涌入量和速度; ④岩石质量好, 无风化、节理松散等现象, 但大断裂带可导致强烈的挤压。应该说, 对以上问题我们都已有了一定的认识, 并积累了较丰富的处理经验和措施, 但远未彻底解决这些问题。就以地下水问题而言, 从修建铁路隧道之日起就已存在, 人们对付它的方针也从以排为主发展到防、排、截、堵相结合, 技术措施也从注浆堵水发展到以衬砌自防水(包括防水板)为主, 但收效并不大。究其原因有施工操作不当, 管理不严等, 但主要原因还是: ①勘测时没有搞清楚地下水的来龙去脉, 危害程度; ②设计时根据不足, 措施不当, 或技术措施缺乏针对性和可操作性, 施工时不易达到设计要求; ③从根本讲缺乏价格低廉、操作性好、真正能解决问题的技术措施。

(4) 隧道工程与环境问题

一般来说, 地下工程所造成的环境问题要比地面工程小得多, 这是国际隧协(ITA)通过大量文献检索、专家和管理部门的咨询得出的结论。具体表现为: 对工程周围的环境产生视觉和听觉上的干扰极小; 对地面动植物损害极小; 对地面土地使用的变化极小; 对地面水文影响较小; 可提供城市规划方面的重大改善; 促进城市交通的发展; 施工和使用阶段占地小; 减少交通事故; 符合公众的意愿; 提高抵御自然灾害和战争的能力。

但也应看到, 隧道工程对环境的消极影响也是存在的, 例如: 改变了地层的地质和土工技术特性; 施工期间的噪声; 隧道洞口的交通噪声; 施工和运营期的爆破和列车振动; 隧道洞口或通风井口的空气污染; 施工期间的废碴污染; 地下水文和水质的改变, 包括污染含水层、地下水位下降、减少居民供水和造成地面植被枯死; 意外改变和破坏原有的地下管线路; 可能影响既有建筑物基础, 造成沉降变形, 甚至破坏等。随着公众环境意识的日益强烈, 以及越来越多的限制性环境法规的颁布, 势必将直接影响隧道的可行性和造价, 并带来一定的风险(例如因环境问题不予验收、不准投入使用, 或因不履行环境法规而罚款导致增加工程附加费等)。

为了适应环境方面越来越严的要求, 当前急需解决的有如下几个问题: ①废碴处置。最理想的方法是全部用来作为建筑材料(包括道碴)或路基填料; 不得已时亦要选择对环境影响小的倾卸场地, 如能用来填筑凹地以形成适宜于耕作的农田, 则可造福于民, 符合可持续发展原则。②研究隧道工程与周围环境相协调的设计和施工方法。这里所指的周围环境是广义的, 包括地质环境、水文地质环境、生态环境、生活环境、社会经济环境等。以往对这个问题比较忽略, 常常只考虑铁路或隧道本身的利益, 现在需要转变观念。为此, 我们要研究新的设计理论和方法, 开发新的绿色施工机械和材料, 对参与隧道设计、施工、运营和维护的人员进行环境观念和技术的培训, 增加设计、施工人员对周围公众、社会的联系和交流, 使他们了解社会对工程的要求和希望。

3.2 掘进机的关键技术

掘进机施工以其快速、经济、优质、安全为特点, 在国外得到了广泛的应用, 较为普遍地用于长隧道施工。据统计, 采用掘进机修建的隧道长度约占目前施工隧道总长度的 1/3。秦岭隧道是我国采用掘进机施工的第 1 座铁路隧道。对于采用掘进机施工, 现在有必要对以下几个问题进行研究:

(1) 使用掘进机的方式

目前小断面掘进机施工技术已经比较成熟,在我国也曾达到月进1300m的记录(引大入秦30A输水洞, $\phi 5.5\text{m}$, 双护盾掘进机),在抗压强度 $\leq 100\text{MPa}$ 的围岩中施工费用已十分接近钻爆法费用。而用大直径掘进机(直径大于9m),在硬岩(平均抗压强度大于200MPa)中开挖隧道技术上风险较大。因此,能否先用小断面(直径为3.5~5m)掘进机开挖导坑,然后用钻爆法扩挖(又称意大利开挖方式)。这里除了能充分利用小断面掘进机的成熟经验外,还能节省造价。因为铁路隧道大多为非圆形断面,采用钻爆法扩挖则可挖成最接近隧道建筑限界的断面形状,避免出现断面利用上的浪费。另一方法也是先用小断面掘进机开挖导坑,然后用瑞士生产的扩孔机扩挖(又称瑞士开挖方式)。也应指出,上述混合法的最终施工速度,由于扩大要用钻爆法而又多了一道麻烦的工序,从而将掘进机正常工作时的高速度优势抵消了,可能反而比全部采用钻爆法时慢。因此,铁路隧道中采用掘进机施工究竟以何种方式掘进为宜,尚不能草率下结论,必需根据围岩特性、机械性能、工期要求、配件供应情况等多种因素综合考虑确定。

(2) 掘进机选型的定量评估体系和适用于掘进机施工的围岩分类

根据围岩特性、工期要求、工程经济指标选出最适宜的掘进机型式是工程单位所面临主要问题之一。根据秦岭隧道施工经验,掘进机开挖的快慢和刀具消耗多少,与围岩特性密切相关。具体来说,选择掘进机时,要考虑的围岩特性应该包括围岩抗压和抗拉强度,节理、裂隙间距和方向、岩石的矿物成分等。这些地质因素不仅决定采用掘进机是否能达到最佳效果,而且还决定刀具型式、布置、消耗以及掘进机所需的扭矩、推力等。这些都必需有一套科学、合理的定量评价指标体系,才能真正做到心中有数而不致于陷入被动局面。当然,适当的定量评估体系是以围岩分类为基础的,因此,要根据与掘进机施工有关的围岩特性,如节理、裂隙间距、方向、矿物成分等对围岩进行分类。并对工期要求和工程经济指标进行比较,以决定采用掘进机是否合算。

(3) 掘进机及配件国产化

我国生产掘进机的历史并不短,目前已生产出第三代产品($\phi 5.0\text{m}$),并进行了工业性试验,最高日进尺达12.7m。同时还在刀具和刀座、大轴承及密封件、刀盘齿轮减速器以及刀盘驱动电机等系列化方面做了很多研究工作,这对加速掘进机国产化、保证质量、降低成本都有明显的效果。但国产掘进机仍存在

很多质量问题,如主轴承寿命短,密封差,刀具强度和硬度都不够,振动噪音大等,必需加紧研究解决。

3.3 水底隧道的关键技术

21世纪我国将面临在长江下游或海底修建长大隧道的任务,其中最具有挑战性的工程是琼州海峡隧道。琼州海峡是我国三大海峡(另外二个为渤海海峡和台湾海峡)中最小的一个,海峡东西走向,长80.3km,最狭处仅10海里,是南海北部通往北部湾的咽喉。长期以来,由于海峡的阻隔,使海南岛与内地陆路交通无法衔接,直接影响着海南岛的环境、资源优势的发挥,如农业、旅游业等主要产业的发展受到不同程度的制约;给投资环境的改善、高新技术项目的引进带来一定的负面影响。此外,海南岛地理位置重要,西邻北部湾与越南相对,距越南岘港海军基地只有150海里。东面是菲律宾的吕宋岛,南方与我西沙、中沙、南沙群岛遥遥相望,军事价值非同寻常。它既可屏障两广,又可控制西北太平洋通往印度洋的海上交通线,是华南的海上堡垒,南海诸岛的重要依托。建设海峡隧道即可建立起一条海上的固定联络线,对解决上述的问题有着重大的作用。

但建设海峡隧道,困难极大,既要面对深水(60~80m)的威胁,还要克服海底活动断裂带的难关。目前,修建水底隧道的主要方法有3种:沉埋管段法(简称沉管法)、机械掘进法(包括盾构法和掘进机法)以及矿山法(亦即钻爆法)。在条件适宜时,用沉管法修建的隧道,其长度和工期最短,造价也最低;盾构法则适用于软土层中。对中等及以上强度的岩层则以掘进机和钻爆法为主。无论采用何种施工方法,水底隧道的修建技术与陆地隧道相比有很多不同之处,具体可分为:

(1) 勘测方面

对江、河底的工程地质和水文地质勘测与陆地隧道区别不大,因为它的水深较浅,上覆土层也较薄。而对于深水的海底,勘测的准确程度就成大问题了。因为在深水及厚覆盖层下要进行有计划的钻孔(深到隧道底部)很困难,有时根本不可能。而其它地质勘探方法,如物理勘探,地面抽样勘探等又都不可能给出隧道线路上详细的地质剖面。就拿日本青函隧道来说,在施工前的21年(1995年~1976年)中,就对轻津海峡进行了各种地质勘测,包括陆地钻孔、地震分析、回声测探、从潜水艇上对海底进行勘测、海底疏浚,还开挖了2个探测斜井,即使如此,勘探的准确度还是较差,经与开挖后实际地质剖面比较,其中海底段(长为23.3m)有80%的不吻合。因此,必须依靠超前勘探导坑和在开挖面的超前水平钻孔的资料

进行补充。

关于如何利用超前水平钻孔的信息来判断整个隧道断面的地质情况,也是需要研究的重要课题。英法海峡隧道水深只有 25m,覆盖层厚也只有 25m,而且地质比较单一(白垩纪泥灰岩),在这样条件下进行海上钻孔就比较顺利,勘探结果也较准确。当然,也不是说没有详细地质剖面就不能开挖隧道,只不过缺乏详细而准确的地质剖面,是会付出很大代价的,并要求隧道施工方法(包括隧道掘进方法和地层控制方法)必须足够灵活,具有较大的应变能力,以便对付所有可能遇到的地质条件和紧急情况。此外,为了避免索赔和昂贵的诉讼,还需要有特殊合同。

(2) 施工方面

由于在深水面上无法布置竖井、斜井等辅助坑道,因此,单口连续掘进的长度很长,从而对掘进机械、后勤保障以及施工通风提出了一些特殊要求(沉管法隧道无这些问题)。在高水压作用下,可能会在高渗透区或与水面有连通的地层中出现大涌水,淹没隧道(因为水底隧道纵断面都是反人字坡)。很高的超孔隙水压也会降低围岩的有效应力而造成围岩失稳。因此,最佳掘进方式的选择趋向于采用掘进机,原因是:对于长隧道为了节省投资,要求有尽可能高的掘进速度和尽可能小的通风要求,而掘进机确实是实行高速掘进的唯一适合方法。当然,水底隧道所采用的掘进机要求有更可靠的性能,更大的应变能力。目前较一致的看法是具有密封压力舱的双护盾掘进机最符合上述要求。密封压力舱内的泥浆或土压可以平衡外部的水、土压力,将涌水的可能性减至最小。目前,密封压力舱的压力限制在 1.0MPa 以下,如要在更高的压力下进行工作,就必须解决盾尾高压密封问题;以及当盾尾密封圈受损或用旧时更换的问题。双护盾可以防止松动的石块砸坏机械和施工人员。而且在护盾保护下还可拼装衬砌管片,不需要进行复杂费时的初期支护作业。在坚硬围岩中掘进机撑脚装置对围岩的作用可以不予理会,但在软岩中,就应仔细分析撑脚装置与围岩的相互作用。因为在软岩中撑脚引起的局部超应力可能造成岩层松弛,而使围岩强度降低,渗透性增大。

在较短的岩石水底隧道中,钻爆法也许是最佳的选择,例如,挪威水底隧道都是采用钻爆法施工。当然,挪威采用钻爆法修建水底隧道除围岩条件有利外,也有一套保证施工安全的措施,包括:除进行事先详细的勘测外(占总投资的 25%~35%),一般都要在开挖面进行水平超前钻孔;遇到含水地层或岩体质量差时,要进行预注浆(超细水泥浆液)和钻孔超

前排水,采用长为 6m~8m 的管棚支护;短进尺爆破及分部开挖,及时用钢纤维喷混凝土支护,并在出碴后再次喷混凝土加强,稳定后灌注混凝土衬砌。

(3) 设计方面

最主要的问题是决定覆盖层的厚度。对于沉管隧道而言,覆盖层越薄越经济,一般不小于 1.0m 厚。但在很多情况下,还有覆盖层为零或隧道顶露出于水面的。对于钻爆法或机械掘进,覆盖层厚度的决定就很有讲究了。因为覆盖层厚度决定其隧道长度,故是一个重要的经济要素。覆盖层厚度越小,隧道越短,作用在隧道上的静水压力越小,但涌水和坍塌的危险性越大,文献[22]曾对英法海峡隧道的服务隧道的覆盖层厚度与渗入水量的关系进行过研究,它表明在一定覆盖厚度下,渗入水量的增加会趋向一个极限值,因此,存在一个最佳的覆盖层厚度问题。其次是水底隧道的防排水对策和设计,它与陆地隧道有很大不同,一般情况下不能采用排水的方法,因为自由排水可能会在隧道周围引起很高的水力坡降,导致作用在隧道壁上的渗透压力大增,而使其稳定性降低。如果事先能预测到很大的渗水量或探明有断层或其它不连续面存在,使隧道和自由水联通,则必须采用水泥帷幕注浆。

本文在撰写过程中得到同济大学教授、中科院院士孙钧老师的多方面指导,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 R. J. Robbins, Hard rock tunnelling machines for squeezing rock condition: Three machine concepts, PROCEEDINGS OF WORLD TUNNEL CONGRESS' 97, 1997
- 2 G. W. E. Milligan, General report: Mechanized tunnelling, PROCEEDINGS OF WORLD TUNNEL CONGRESS' 98 ON TUNNELS AND METROPOLISES, 1998
- 3 Shani Wallis, Qinling China railway, WORLD TUNNELLING, May, 1998
- 4 钟桂彤. 铁路隧道. 北京: 中国铁道出版社, 1993
- 5 铁道部. 中国铁路建设. 北京: 中国铁道出版社, 1990
- 6 铁路勘测史编写组. 铁路勘测史. 北京: 中国铁道出版社, 1996
- 7 铁道部隧道工程局志. 北京: 中国铁道出版社, 1998
- 8 李鹤年. 地质选线在秦岭特长隧道线路方案比选中的应用. 铁路工程建设科技动态报告文集(隧道分册), 1990
- 9 A. Трубников. 苏联山岭铁路隧道的设计与施工经验. 隧道译丛, 1990(10)
- 10 胡政才等. 新的圣哥达与勒奇山山麓越岭隧道的设计. 世界隧道, 1995(3)
- 11 M. Rehbock Sander. 新圣哥达隧道的设计和施工. 世界隧道, 1996(3)

- 12 张智, 胡元芳. 深埋长大隧道施工掌子面温度预测. 世界隧道, 1998 (6)
- 13 张军平, 苟彪. 秦岭特长隧道Ⅱ线平导施工降温措施的现场监测和研究分析. 世界隧道, 1998 (5)
- 14 司军平, 高洪涛, 刘子雄. 对秦岭隧道Ⅱ线平坑进口端岩爆的几点认识. 世界隧道, 1998 (2)
- 15 猪熊明, 铃木昌次等. 隧道施工中事故的现状与发生的原因. 世界隧道, 1995 (4)
- 16 Ф. Hуев等. 隧道与环境保护. 世界隧道, 1995 (6)
- 17 R. E. Heuer. 岩石隧道涌水估计. 世界隧道, 1997 (3)
- 18 AETOS. 地下工程与环境. 世界隧道, 1997 (2)
- 19 刘春. 秦岭Ⅰ线隧道 TBM 施工初始阶段的体会和认识. 世界隧道, 1998 (4)
- 20 李典璜, 阎启汉. 西康线秦岭特长隧道 TBM 施工情况及问题探讨. 世界隧道, 1999 (1)
- 21 严全秀, 王建宇, 范文田. TBM 技术发展及应用现状. 世界隧道, 1998 (4)
- 22 Z. D. Eisenstein. 大型海底隧道与隧道工程技术的发展. 世界隧道, 1995 (3)
- 23 R. Robbins 等. 海底隧道的掘进机的开发. 世界隧道, 1995 (3)
- 24 B. Nilsen 等. 挪威对海底隧道工程的研究. 世界隧道, 1995 (3)

RAILWAY TUNNELLING TODAY AND ITS DEVELOPMENT

Zhang Mi Liu Weining

Qin Songjun

(Northern Jiaotong University)

(China Railway Engineering Corp.)

Abstract

The progresses of the railway tunnel construction at home and abroad are briefly reviewed. Through which, the two main trends of tunnel engineering development are pointed out: tunnels for transportation will be constructed longer and longer and underwater tunnel will be adopted more and more for the purpose of improving. The condition of railway transport as well as navigation, increasing the speed of train and protecting the environment. The construction achievements and shortages of long railway tunnel in China are also briefly introduced with the discussion on some key techniques about drilling and blasting method, TBM method and underwater tunnelling.

Key words: tunnel engineering, railway tunnel

张 弥 教授, 博士生导师, 通讯地址: 100044 北方交通大学隧道及地下工程试验研究中心

刘维宁 教授, 博士生导师。

秦淞君 教授级高级工程师, 中国铁路工程总公司原副总工程师。