

# 修建膨胀岩隧道几项重要措施

吴 成 三

如何经济合理地建成膨胀岩隧道,使施工中不产生不许可的变形并对运营中不留后患,是目前国际间的一个难题。实践是检验真理的标准,只有深入研究国内外膨胀围岩隧道的实践,特别是最近的经验,才能从中加深认识,提出比较科学的设计原则和施工措施。

## 一、国内实践

正在施工中的侯月线云台山隧道长8145m,其中施工技术难题之一为膨胀岩和膨胀岩的施工技术。该隧道通过二迭系地层,由粉砂岩和砂页岩层,泥岩为主,夹砂岩,其中页岩泥岩含蒙脱石,伊利石等亲水性矿物微细颗粒,具有膨胀性,三孔钻孔取岩样6组,化验结果均为膨胀性、自由膨胀率为21—41%,膨胀压力由800—2000kPa,隧道每日涌水量为8850吨。同线另一隧道——陶坪隧道也穿过膨胀岩,自由膨胀率高达39—91%,其次正在施工的小坪隧道也是膨胀岩,如在设计施工中不采取有效措施,后果不堪设想。

过去修建的膨胀岩大多数在施工中或运营后发生了问题,拖延工期,影响运营,浪费了大量资金。如成昆线的百家岭、东荣河,拉白二号等7座隧道通过膨胀围岩,有的通过石膏层,有的通过泥岩含膨胀性物质,在施工期间有的支撑折断,隧底鼓起,也有衬砌侵入净空高达50cm。其他如西延线的崔家沟隧道、青藏线的关角隧道竣工后不久,整体道床由于围岩的膨胀力出现上鼓高达300mm,延长1279m。整治后,恢复行车10年后又在其他地段出现隧底隆起,影响运营。

根据大量实践结果,我国对通过膨胀围岩在设计施工方面,也总结出一套原则,如采用钢拱支撑,封闭衬砌并注意地下水不浸泡拱脚,以及为了防止衬砌侵限,提出把拱部一般提高10cm,起拱线放宽10—20cm等等。这些措施至今还有实用价值,但不能说已足够完整。对这些宝贵经验在设计施工中也可能被考虑过了,但有时智者千虑,必有一失,有时,由于资金所限,即使图纸上有了措施,如预算中没有体现,施工单位也无法执行,最后还有旧病重发之可能,使全线不能如期通车,悔之晚矣。

## 二、国外信息

联邦德国最近建成通车的一座膨胀岩隧道,本年一月和六月分别发表了两篇文章进行介绍,富有新意。前一篇已在《铁道标准设计通讯》上介绍,后一篇现已译完,文

中叙述是在何种外部条件下将这座非常困难隧道建成的,同时介绍有问题的地段及其解决方法,准确地查明山体情况和对地下水渗入易于膨胀未受浸洗过的石膏地层做好正洞的施工准备在隧道工程技术上是特别困难的。因而首先做试验段,采用不同的结构类型进行比较。文中叙述的有关正洞的掘进和断面结构以及其独特的设计原则,都是以从这些试验段中所获得的知识为依据的。现扼要介绍如下,供云台山等膨胀岩隧道修建中参考。

在德铁新建高速铁路上有一座夫牢以登斯太恩隧道“Freudensfeinfunnel”长约7 km,其中四公里以上通过易于膨胀岩层,属于石膏类,其组成为薄层粘土,泥土和泥灰岩,白云岩互层,中间夹杂有成带或成闭式石膏(Gips)和硬石膏(Anhydrit)当层面风化后和地壳构造过程的结果,在形态学上石膏表面便形成为石膏地层的上部边界。在石膏面层下5—10m为硬石膏,由于地质上不连续,可能这个尺寸有很大偏差。硬石膏是未受水浸洗过的石膏及其变态,在隧道工程中要采取特别预防措施。

当渗进水和自由伸长情况下,硬石膏便转化为石膏,其体积增大约64%,当伸长受到限制时,则产生很大压力,在试验室中测得结果,膨胀压力大于 $7\text{ MN/m}^2$ ,由于这个过程德国已有许多隧道工程被破坏和(或)必须经常进行整治。

夫牢以登斯太恩隧道全长的 $2/3$ 为易于膨胀的硬石膏层,地质纵剖面表明:其中有四个有问题的地段,必须特别注意。

原则上,针对距石膏表面的各点隧道高程,必须解决不同的稳定性和防水问题。用一般的掘进方式通过如此困难地段,似不合理。等在施工当中解决这些困难问题,在技术上要耗费大量时间,对于工期和造价将造成不堪设想的后果。为了较好的事先查明山体对水位的关系,决定先修建试验段,使一些困难问题已在试验段中妥善处理,在后来的正洞施工中不再出现不能克服的困难。同时,在大比例尺建成的试验段中观察山体特性,用做正洞的设计基础。勘查位于隧道东段,用直径5.4m的全断面掘进机进行开挖,在通过浸洗过的围岩,装设园柱形刀具。困难表现在东段浸洗范围内的防水问题。一些厚度为1—3m之间的空洞和富水区贯通主隧道,从底部到顶部长约450m。从勘查洞中进行注浆,使在主隧道周围形成封闭围幕。这样避免了向曼海姆方向发展 and 深埋的硬石膏层中渗水。

勘查洞完成后,并在山谷下扩大为两个辅助掘进点于1987年春季正式开工。考虑到全断面的尺寸和规定的施工作业,便将开挖断面分为上部,中层和底部。在浸洗过的围岩中,开挖断面约为 $150\text{ m}^2$ ,而在含石膏地层的围岩加大到 $190\text{ m}^2$ ,在这两种情况下都对衬砌要求采用连同底部平顺的闭合断面。这是考虑到被浸洗的围岩中承载强度低,而在强度高的硬石膏地段中,则预料隧底膨胀产生的压力。

在被浸洗过围岩中的掘进,采用挖掘机(Bagger)或部分掘进机,而对未被浸洗过的围岩,则采用钻爆法。由于岩干燥,必须尽可能在石膏面以下的围岩掘进和支护中,以大量费用防止或消灭灰尘。在爆破的钻孔中,用含水饱和的空气冲洗灰尘;在所有倒装点则将灰尘抽走;而在车道部分则用氯化钙溶液粘结。

1. 试验段由于岩层均匀地向东移动,经过勘探查明:强烈的膨胀层位于闪光铅带上面不远处,并局限于安装掘进机的洞穴范围以内,这已用钻孔证实。约在以北70m与正洞平行并在轨面以上10m的隧道部位,开凿一个进口横洞,然后打通一个1:2比例尺与正

洞平行的试验段。其目的是预先查明山体膨胀性质和观察隧道衬砌的受力情况。膨胀过程是用人工向硬石膏灌水而形成的。

在此约120m长的试验段中的前部,对隧洞各节采用不同的断面厚度和不同的用钢重的方式进行研究,并用大量测试设备观测和纪录混凝土内层和围岩以及围岩内部的应力和变形,对收敛和混凝土表面的曲率变化则用手实际重测。

在一节底部范围内和在混凝土内层下面加设一层可压缩的缓冲层,在围岩持续膨胀过程中,此种缓冲层少对围岩膨胀不是硬抗而是适当的退让。

对缓冲层尺寸规定的根据,是在试验段第二部分进行研究的。这里洞底仅采用锚定的仰拱。

为了得到反馈,对在隧道中已确定的膨胀大的地段设置四个量测断面,利用这些量测断面和试验段进行技术观察,并坚持下去,能可靠地观察出由于膨胀产生的隧道内层受力情况。

2. 试验段为石膏石层,位于拱顶以上仅几米。当掘进通过这部分隧道断面时,不能阻止部分围岩松动,就在这里地下水能渗进未浸洗过的富于膨胀性的围岩。与规定的爆破工作平行作业,在扩大时应向围岩内进行注浆,增强其封闭防水性能。

隧道外层采用网喷混凝土支护。

3. 试验段的围岩情况及采用的工程技术措施与工段近似,另外要在部分试验段中采用的足够坚强的混凝土衬砌中研究围岩的自闭作用。

为了防止地下水下落情况下,隧洞掘进采用了超前背板或管棚支护。

为了防止随着掘进而出现的地下水沉落,首先对200m一段采用新奥法施工,用钢支撑和喷混凝土支护,然后在用压缩空气作业情况下约1200m范围内采用全断面掘进机,隧洞衬砌采用挤压混凝土。

到石膏部分后,拆除掘进机,其余部分采用压气防护和沿着石膏层采用超前注浆措施,然后用铲式挖掘机,用新奥法施工。其余部分直到未被浸洗的干燥围岩,采用钻爆法开挖。

4. 试验段隧道穿过很长的石膏层,在浸洗过的一侧地下水位高,富于膨胀性的围岩位于未受浸洗过的一侧,需要对过渡区内进行大量注浆封闭,在封闭成功后,两段相互连接。

自1983年起,进行的膨胀试验提出:应用抵抗理论所预料的隧底压力达7 MPa以上,钢筋混凝土底也不能承受。口瓦立(Kovari)提出采用缓冲底部结构的建议并亲自参加设计组,又提出科学的设计规定和参加量测计划的拟订,以及结构细节的设计,起了决定性作用。

无论通过浸洗过的或含石膏岩层,其隧道结构都是以内层衬砌连着仰拱为依据而进行的。当采用抵抗方案时,其预计荷载是从内层衬砌直接传在隧底混凝土的支护上面,而采用缓冲(变形)方案时,必须考虑到典型的膨胀围岩特性和在内层下面许可一定数值的隧底上鼓,为了在结面上移植这个缓冲方案则在内层衬砌仰拱下面设置这样一个缓冲部分,并在实验室内已求出变形对于内层衬砌传递荷载是无妨碍的,这个缓冲部分以两个混凝土

肩为限,这两个混凝土肩

- 1) 用做位于隧底的缓冲部分支承
- 2) 在膨胀开始之前,支承仰拱和承受运营荷载

因为在混凝土肩范围内不存在缓冲部分,那里的压力,以加在隧底压力的2.5倍计算。

重要的是缓冲部分厚度设计,开始考虑隧底压力为1 MPa在结构上可以胜任,也从实验室中得出了试验资料。对这样大的反力,膨胀试件的容许最大上鼓为14%。

对最合适的缓冲材料试验结果指出为泡沫状多铁质的烘烧粘土,对此种材料加压1 MPa,由于颗粒破碎,其压缩量为40%。

当选择缓冲部分的厚度为1.2m时,可供利用的压缩为48cm。这个尺寸比较起来,可能是围岩的上鼓量。

隧道断面采用两种不同的断面设计,满足实际要求,凡有出现膨胀的地段一律采用缓冲断面,其他地段则采用一般断面。

为了防止含有强裂硫酸根的地下水侵蚀混凝土结构,则在内外两层之间铺设3 mm厚的防水板,固定在喷混凝土表面的调整层上。对如长约11m之间的工作缝,则采用外贴止水带,形成各自封闭段落,一旦日后防水部分出现缺陷,则局限于一定范围。

该线路于1991年6月2日投入运营。在运营中对本隧道规定的量测断面和试验段坚持观测工作,直到由于围岩膨胀产生的破坏性的隧底上鼓和受力确被排除时为止。

根据国内经验,对膨胀岩隧道,由于时代背景采用的修建方法不尽相同,但建筑物的变形情况,多有类似之处,特别表现在隧底鼓起方面,据德国统计卡派路贝格隧道在100年之内底部上鼓达4.7m。为了防止膨胀岩隧道出现病害,特提出几项重要措施,仅供隧道修建人员灵活掌握,针对实际水文地质情况,妥善应用。

1) 尽可能防止地下水渗进膨胀围岩,首先是排水,即引水归槽,流通无阻。但排水有时不可能和不许可,还须采用阻水措施,即注浆堵水使地下不与膨胀岩接触。关于这一点,前述的夫牢以登斯太恩隧道的四个试验中所采用了各种注浆阻水办法,效果显著,值得学习。我国南岭隧道通过浅埋岩溶富水地段,大量突水冒泥。对此的处理,意见分歧很大,而且“三起三落”,最终还是注浆阻水,胜利地解决了难题。我们的经验是注浆工作,费工费钱但在一定情况下非用不可。为了及时贯彻执行,首先是有关隧道修建人员特别是领导干部对注浆效果要有深刻共识,不只在设计文件中还要在预算中有明确体现,否则行不通,或不认真灌注,完工后出现病害再在运营中进行整治,难上加难,实例犹在切勿忽视!

- 2) 做好仰拱设计,防止隧道鼓起。

前面介绍的德国膨胀岩隧道,其膨胀力为7 MPa,创造性地采用了缓冲断面,究竟结果如何,正在运营考验中。我国云台山隧道膨胀力为2 MPa,比德国的小,但远远大于关角隧道的膨胀力0.16MPa,应引起高度重视,及时积极开展这项研究工作。

关角隧道的处理,作者参加了决策工作,拆除破坏的整体道床,修建强大的防水钢筋混凝土仰拱,上面铺设有道碴床的宽轨枕(图6)经过约20年来运营考验,未出现上鼓问题。非常明显,关角隧道的膨胀力仅为云台山隧道的1/12,只能作为参考。

在没有最佳方案以前,可参考高尔塔对通过膨胀围岩隧道结构的建设采用曲率大的仰拱,减小膨胀范围,必要时并在两侧加打锚杆,同时采用较厚的钢筋混凝土仰拱的小结,但这要根据实际情况决定。

### 3) 开挖断面适当加大

为了考虑衬砌侵限,留有余地,并将开挖断面加大一定尺寸,至少20—30cm。

4) 膨胀围岩,土质和破碎围岩部分一律采用闭合衬砌。对地下水无侵蚀性的内层衬砌,可采用防水混凝土,在喷混凝土外层和内层衬砌之间则采用塑料薄模(瓦斯地段除外)以减少收缩裂缝和防止地下水侵入而改变水灰比。奥地利采用的聚氯乙烯塑料薄模厚度为1/10mm,铁道部隧道工程局研究结果:聚氯乙烯薄模厚度不宜小于0.25mm,如采用聚乙烯,其厚度不小于0.20mm。经计算用聚氯乙烯薄模代替聚氯乙烯防水板,每延米造价可由324元降低到98元。这指的是1mm板,实际德国用的防水板厚度为3mm,同时还要另加塑料调整层,按这样做降低造价就更多了。

5) 一般采用上中下三部开挖,根据实际情况也可采用其他开挖方式,这要根据围岩的自稳能力而定,重要的要采取足够强度支护措施。对不稳定的围岩必须考虑钢拱支撑,超前支护,根据压力的大小分别采用背板或管棚,同时要支护紧跟掘进,尽快成环,必要时上部临时成环。

(参考文献略)