

# 小断面大纵深天然气管道隧道二次衬砌施工优化

高翔宇

国家石油天然气管网集团有限公司建设项目管理分公司 河北 廊坊 102800

**摘要:** 随着中国能源结构因经济体制转型发生变化,国家对于天然气长输管道建设加大力度,大口径、高压力和新材料的天然气管道大大拓展了天然气管道的建设地域。中国地形复杂,天然气长输管道建设必然会经过山区,隧道穿越便是十分方便且安全的方式。

小断面大纵深隧道是常用的隧道方案,由于天然气管道的危险性,需要保证远离人员密集的位置,所以无法保证较好的地质条件,复杂的围岩构造使得隧道需要进行二次衬砌施工以保证隧道施工质量可以满足设计要求。为了节约工期和投资成本,使用两辆台车进行隧道二次衬砌循环施工以提高施工效率。

**关键词:** 天然气管道;二次衬砌;施工工序

## 1 背景及意义

随着国家对能源结构不断优化,天然气在能源结构中占比日渐提高,正在运行的天然气管道输送量已经不能够满足日益增长的工业生产和人民生活的需要,大规模建设天然气长输管道便是保证国家能源供应稳定的重要手段。管道建设沿线地质条件复杂,天然气作为一种易燃易爆气体,具有较高的危险性,为了保证运行后的安全,必须重视管道建设过程中的质量。

长输管道工程项目建设影响到国家和社会的发展,工程项目快速高质量完成,不仅可以为人民生活带来福祉,也使国家的经济实力得到了提高。工程项目存在质量问题,不但会带来经济损失,还会带来人员伤亡、社会恐慌等后果,例如黔西南州“6.10”中缅管道爆炸较大生产责任事故,不但对沿线环境造成影响,而且带来了恶劣的社会影响。因此,工程项目的高质量是对国家和人民负责的表现。

## 2 天然气长输管道项目隧道工程的特点

(1) 隧道工程设计要求高。因不同地区的山体岩石组成不同,天然气管道隧道的设计要求和施工方案差别很大,无法形成通用性设计技术方案。

(2) 隧道施工过程不确定性较大。在进行掘进过程中,工程前期勘探的结果无法完全真实反映隧道所经山体的完整构造,掘进过程中会存在部分未发现的溶洞、破碎带和地下暗河等特殊情况,影响隧道掘进速度和工程主体稳定性<sup>[1]</sup>。

(3) 隧道工程建设周期长。受限于工程项目投资成本,天然气管道隧道的作业面尺寸较小,无法实现掘进和二衬施工同时作业,且大型设备和机械无法进洞施工,严重制约施工速度。

(4) 隧道工程影响天然气管道工程安装进度。天然气管道安装施工须在隧道工程完成后才可进场施工,易受到隧道工程完成滞后的影响,从而影响工程项目的交付时间。

## 3 天然气长输管道项目隧道工程的二次衬砌施工

### 3.1 二次衬砌的定义

“二次衬砌”是隧道施工中的一个术语,指已经完成的隧道四面进行加固后,对隧道进行第二次加固,是复合式衬砌的内层结构,与外层的喷锚初期支护及围岩共同组成完整的支护体系,采用模筑混凝土浇筑。

### 3.2 二次衬砌的标准

隧道分为五个等级,不同围岩的岩体特征各不相同,如表1所示。

当隧道围岩为Ⅱ级围岩时,不需要施作二次衬砌的拱墙部分,二次衬砌的底板部分的厚度为20cm,采用C30强度等级的混凝土进行浇筑。当隧道围岩为Ⅲ级围岩和Ⅳ级围岩时,二次衬砌的拱墙部分的厚度为20cm,采用C30强度等级的混凝土进行浇筑;二次衬砌的底板部分的厚度为20cm,采用C30强度等级的混凝土进行浇筑。当隧道围岩为Ⅴ级围岩时,二次衬砌的拱墙部分的厚度为30cm,采用C35强度等级的混凝土进行浇筑;二次衬砌的底板部分的厚度为30cm,采用C35强度等级的混凝土进行浇筑;二次衬砌中配加钢筋以提高强度。

### 3.3 二次衬砌的施工方式及设备

天然气管道隧道的施工断面较小,采用小跨度二衬台车进行混凝土浇筑。二衬台车主要由行走结构、支撑结构和模板组件三大部分构成。行走结构分为两种,一种是轨道式结构,由两台电动机、两台减速器和八个轮子组成,这种行走结构具有行走速度快,结构组成简单

等优点,但只适用于坡度小于7%隧道二次衬砌施工;另外一种步履式结构,由两组承重部件和两组液压装置组成,这种行走结构对于坡度的适应性较好,并且对隧道内底板的要求较低,但是其存在行走速度慢,液压操作复杂的缺点<sup>[2]</sup>。模板组件为边顶拱式,采用整体钢模板、液压油缸脱立模,浇筑过程中采用丝杠千斤支撑,防止出现混凝土外漏和模板变形等情况。

表1 隧道围岩等级表

级别	岩体特征
I	坚硬岩,岩体完整
II	坚硬岩,岩体较完整; 较硬岩,岩体完整
III	坚硬岩,岩体较破碎; 坚硬岩和软硬岩互层,岩体较完整; 较软岩,岩体完整
IV	坚硬岩,岩体破碎; 较硬岩,岩体较破碎或破碎; 较软岩或软硬岩互层,且以软岩为主,岩体较完整或较破碎; 软岩,岩体完整或较完整
	土体:具压密或成岩作用的粘性土、粉土及砂类土,一般钙质、铁质胶结的碎(卵)石土、大块石土、黄土
V	软岩,岩体破碎至极破碎 全部极软岩及全部破碎岩(包括受构造影响严重的破碎带)
	土体:一般第四系坚硬、硬塑粘性土,稍密及以上、稍湿、潮湿的碎石土、砂类土、粉土及黄土

### 3.4 二次衬砌的施工工序

天然气管道隧道受到围岩等级等因素影响,不同围岩等级存在不同的二次衬砌施工工序。

当隧道围岩等级为Ⅲ级和Ⅳ级时,施工工序如下:第一步为铺设排水盲管,纵向排水盲管、环向排水盲管和横向排水管采用定型三通进行连接,环向透水盲管的铺设距离根据作业面的透水情况进行调节,当透水量较大且主要水流从固定位置外流,可以敷设一个单独的排水管直接进行引流,防止出现水流量过大,超过横向排水管排水上线从而导致出现初次衬砌和二次衬砌之间存储大量积水,降低隧道内部安全性;第二步为铺设无纺布和EVA防水板,首先铺设无纺布并固定在初次衬砌上面,然后铺设EVA防水板,EVA防水板铺设时要保留松弛度;第三步为立矮边墙模板并浇筑混凝土,矮边墙模板根据不同情况进行灵活选择,浇筑混凝土过程中保证橡胶止水带和横向排水管处于正确的位置,保证不会出现积水无法及时排出从混凝土浇筑接缝处外流等问题;第四步为固定二次衬砌台车并浇筑混凝土,二次衬砌台车

在固定前要进行定位、打磨除锈和喷油防腐等前期准备工作,当台车准备就绪时,液压油缸将模板撑开并使用人工将丝杠千斤支撑到位,模板支撑到位后封堵台车端头,同时连接台车浇筑口和混凝土泵送车之间的泵管,连接完毕后开始泵送混凝土,在浇筑混凝土的过程中要使用混凝土振动器对混凝土进行振荡,防止混凝土凝固后出现气孔等质量问题;第五步为拆除模板并移动台车<sup>[3]</sup>。

当隧道围岩等级为Ⅴ级时,施工工序如下:第一步为铺设排水盲管;第二步为铺设无纺布和EVA防水板;第三步为立矮边墙模板并浇筑混凝土。施工工序的前三步的重要说明同Ⅲ级围岩二次衬砌施工工序前三步相一致,但是由于Ⅴ级围岩的危险系数等级更高,存在一些更高的质量要求。第二步施工工序中还需注意在铺设过程中禁止对初次衬砌的钢拱架、钢筋网片和初喷混凝土层进行破坏,以防止初次衬砌的质量不能满足设计要求;第三步施工工序中还需注意,混凝土浇筑过程中要及时按照设计图纸埋设钢筋,为编制钢筋笼提供先期基础。第四步为编制钢筋笼,因Ⅴ级围岩的危险系数等级更高,更容易出现坍塌的危险,素混凝土浇筑的二次衬砌已经不能提供足够的强度来保证隧道的安全性,需要采用可以提供更高强度的钢筋混凝土浇筑的二次衬砌来保证满足设计要求的安全余量<sup>[4]</sup>。在编制钢筋笼时,要将钢筋笼放置在隧道二次衬砌的中间,不得出现外露的情况,否则会影响二次衬砌强度,从而影响安全性。第五步为固定二次衬砌台车并浇筑混凝土,由于存在钢筋笼,在混凝土浇筑过程中要进行充分的振动,消除其中的空洞,保证二次衬砌的强度。

### 3.5 二次衬砌的施工进度优化

天然气管输管道隧道作业面较小,洞内交叉作业无法实现,常规施工工序存在时间长、效率低和质量不易保证等问题。面对长距离天然气管道隧道二次衬砌施工为保证隧道施工质量,加快施工速度,采用一种二次衬砌循环施工方案。该方案使用两辆台车和一辆混凝土泵车进行循环施工,排水盲管、无纺布和EVA防水板的铺设工序要和二次衬砌浇筑工序分开,排水盲管、无纺布和EVA防水板的铺设和钢筋笼的绑扎要进行提前施工,保证施工的质量和二次衬砌循环浇筑的进度。下面对于二次衬砌循环施工工序进行说明。如图1所示,隧道二次衬砌施工方向为隧道中心向洞口,靠近隧道中心的二次衬砌台车为1#台车,靠近隧道洞口的二次衬砌台车为2#台车,混凝土泵车放置于2#台车前一板的位置。二次衬砌混凝土循环浇筑工序如图2,如图3所示每个流程的时间、台车的位置和施工机组及人数。



图1 隧道二次衬砌施工顺序图

施工节点	节点工时(h)
	累计工时(h)
施工位置(板)	
施工班组及人员需求	

图2 隧道二次衬砌施工流程图节点示例

首先,假设二次衬砌台车的二衬(包括浇筑前准备工作、浇筑、清洗泵管时间)时间为8小时,二次衬砌混

凝土养护(包括混凝土凝固和端头拆除)时间为8小时,二次衬砌台车移动(台车移动和台车定位)时间为1小时,二次衬砌台车脱模移动(模板回收和二次衬砌质量确认)时间为1小时,1#台车支模(包括打磨台车模板、立模和连接泵管)时间为2小时,2#台车支模(包括打磨台车模板、立模、封堵台车端头和连接泵管)时间为3小时,混凝土泵车移动时间为1小时。每辆二次衬砌台车施工机组为6人。

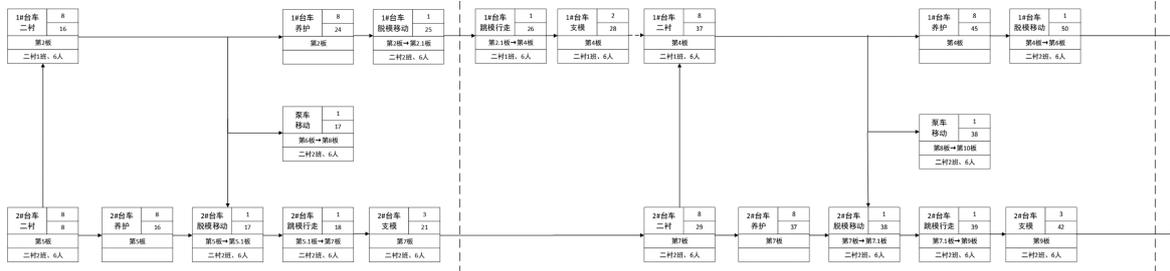


图3 隧道二次衬砌施工流程图

二次衬砌循环施工起始条件为1#台车到达第2板处并完成支模,2#台车到达第5板处并完成支模。首先2#台车进行二次衬砌施工流程,1#台车二次衬砌机组人员进行休息,2#台车二次衬砌机组人员进行混凝土浇筑;当2#台车完成二次衬砌施工流程后,1#台车二衬机组人员连接泵管,开始进行1#台车二次衬砌施工流程;当1#台车完成二次衬砌施工流程后,2#台车已经完成养护流程,可以进行脱模移动流程,台车移动至第5.1板处;当2#台车脱模移动完成后,混凝土泵车从第6板移动至第8板处,2#台车从第5.1板处移动至第7板处,当2#台车完成移动流程后,开始进行支模流程;当2#台车完成支模流程后,开始进行2#台车二次衬砌施工流程。当2#台车完成二次衬砌养护流程,开始进行台车脱模移动流程,随后进行台车跳模行走流程;当1#台车就位后,进行支模流程,由于1#台车支模完成时,2#台车二次衬砌施工流程尚未结束,存在1小时自由时差可以支配。当2#台车完成二次衬砌施工流程后,1#台车开始进行二次衬砌施工流程;当1#台车完成二次衬砌施工流程后,2#台车完成二次衬砌养护流程,开始进行脱模移动流程,台车移动至第7.1板处,完成后进行台车跳模行走和泵车移动流程,混凝土泵车从第8板移动至第10板处,2#台车从第7.1板处移动至第9板处;当2#台车完成支模流程后,开始进行二次衬砌施工流程;当2#台车完成二次衬砌施工流程后,

1#台车完成养护流程,可以进行脱模移动、跳模行走和支模流程。二次衬砌循环施工流程如上述所示,剩余的二次衬砌按此进行循环施工。

#### 4 结论

天然气管道隧道施工作业面小,难以使用大型机械,掘进与衬砌交叉作业无法实现,需先完成掘进和初次衬砌后才能进行二次衬砌。由于掘进和初次衬砌风险大,工序难以优化,本文致力于优化二次衬砌施工工序。采用二次衬砌循环施工方式能有效缩短施工时间,并用流程图描述该流程。研究结果显示,使用此方法完成4板二次衬砌需54小时,每板仅需13.5小时,而传统方式每板需20小时。新方法每板施工时间节省32.5%,极大提升施工效率,降低建设成本,提高工程质量,为其他天然气管道隧道施工提供借鉴,确保后续管道运行安全。

#### 参考文献

- [1]张国军.隧道二次衬砌外观质量常见问题及防治措施[J].现代工业经济和信息化,2015(14):51-52.
- [2]杨龙飞.隧道二次衬砌混凝土施工技术要点分析[J].山西建筑,2019,(02):154-155.
- [3]魏加志.隧道二衬边墙混凝土分层逐窗浇筑系统设计及应用研究[J].铁道建筑技术,2019(02):14-17.
- [4]杨友彬,裴利华,林东,等.软弱围岩隧道二次衬砌合理施作时机研究[J].施工技术,2018,(24):29-33.