

文章编号:1004—5716(2004)02—0127—03

中图分类号:U449.82 文献标识码:B

# 大型箱涵顶入施工技术

陈俊生<sup>1</sup>, 饶为国<sup>2,3</sup>

(1. 北方交通大学, 北京 100044; 2. 郑州市公路管理局, 河南 郑州 450052;  
3. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘 要:**系统介绍了国内大型箱涵顶入施工中较为先进的施工工艺和施工理论, 并对大型箱涵顶入施工中的主要技术环节做了说明。

**关键字:**箱涵顶入; 方案比选; 气垫法; 土压平衡

小型箱涵顶入施工的技术和设备都比较简单, 施工工艺的发展也比较成熟, 已作为一种常规的施工工艺为业主所广泛接受。不过在最近的 20 年, 随着我国路网的建设, 遇到了很多大型箱涵的顶入施工, 顶入施工技术无论是在施工理论, 还是施工工艺方面又都有了突飞猛进的发展, 采用顶入法已经建成了很多大型工程。由于在我国路网的建设过程中, 先行进行建设的是铁路路网, 所以以前的顶入法施工多是针对穿越既有铁路线路给出的, 现在由于公路网尤其是高速公路网的建设, 以后也将会经常遇到穿越公路线路的大型箱涵的顶入施工。

## 1 顶入箱涵与建桥的方案比选

在项目立项初期, 经常会遇到顶入箱涵方案与建桥方案的比选工作, 究竟是采用顶入箱涵还是以桥的方式通过既有线路, 施工地点的地形是应该首先考虑的因素, 如果既有线路处在挖方地段, 则采用桥的方案显得比较经济, 如果既有线路处于填方地段, 一般来讲采用顶入箱涵比较经济。以下是顶入箱涵的一些优点:

(1) 采用箱涵顶入施工技术穿越既有线路, 可以避免修建便线、便桥, 能够最大限度的避免对行车的干扰, 同建桥相比, 可以达到节省工程造价的目的。

(2) 建桥的施工周期一般较长, 其中包括钻孔成桩、浇注桥台、桥墩、架梁等过程; 而箱涵可以分段浇注或一次成型, 然后只要把箱涵顶推就位即可, 施工周期可以大大缩短。

(3) 在穿越铁路的时候, 铁路要求的净空一般高达 6.5 ~ 7.0m, 而城市道路净空一般只有 4.2 ~ 5m, 所以, 从引道长度来说, 箱涵比桥更为有利。

(4) 箱涵的抗震性较好, 对人力交通也比较安全和方便, 对环境的影响也较小, 且很容易满足扩建方面的要求。

## 2 大型箱涵顶入施工中的主要技术环节

### 2.1 大型箱涵顶入时接口的处理

不论是大型箱涵还是小型箱涵, 都会遇到接口的问题, 小型箱涵的接口可以采用普通的 F 型或 T 型接口, 可参考有关的书籍, 大型箱涵的接口需采用专门的设计, 现介绍两种比较典型的接口方式<sup>[1]</sup>。

第一种接口方式见图 1, 图 1 所示的是一个接头的详图, 像这样的接头均布在箱涵壁内有数个。从接头处可以见到在箱涵壁内预埋有一根套管 5, 在套管的两头各预埋一个接头盒。图 1 所示的箱涵是从右向左推进, 所以, 左边的接头盒比较坚固, 由钢

板焊接而成, 预埋底板 2 也比较厚, 因为在下一个接头没有安装好之前, 紧定螺母拧紧以后的拉力全部由该接头盒承担, 右边的接头盒 4 可以薄一些, 也可用 PVC 塑料做成, 同时用该材料做成的还有套管 5 和树脂注入管 9。当前一节箱涵顶入完毕就把穿有高强度螺栓的后一节箱涵放在工作坑的滑板上, 然后把连接螺母 8 先拧入左边的高强度螺栓大约二分之一处, 然后把右边的高强度螺栓再拧入连接螺母。待所有的高强度螺栓都连接好以后就可把后一节箱涵徐徐推进, 与前一节合拢。这时, 在后一节箱涵的尾端把一只只紧定螺母 7 拧紧以后, 这两节箱涵就紧紧连接在一起了。衬垫 10 是起止水作用的, 在箱涵全部推完以后, 再从树脂注入管内向每一个接头盒内注入一定量的环氧树脂, 把接头盒封住就可以了, 这种接口形式只有高强度螺栓受拉力, 混凝土只受压力。

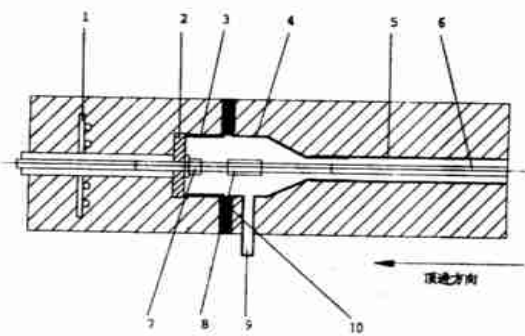


图 1 第一种接口方式详图

1 - 预埋件; 2 - 预埋底板; 3 - 钢接头盒; 4 - 塑料接头盒; 5 - 套管;  
6 - 拉杆; 7 - 紧定螺母; 8 - 连接螺母; 9 树脂注入管; 10 - 衬垫

另一种典型的接口形式见图 2, 图 2 所示的接口形式比较简单, 它只是在箱涵内壁距两端相等的中间位置上预埋一个长 250mm、宽 100mm 的钢制接头盒, 在盒子的前后两头各开有连接螺栓可通过的孔, 该孔对准预埋好的套管, 连接过程中只需要把两节箱涵之间的连接螺栓拧紧即可。在软土及地下水压高的地方采用图 2 所示的接口形式的时候, 除简单的采用衬垫密封以外, 还应设计专门的止水结构, 图 3 给出了一种止水结构形式, 它是分别在箱体的两个端面上各开一个梯形槽, 在两个梯形槽中间安装一块止水板, 该板多用橡胶制成, 然后再用特殊的充填剂

填满即可。

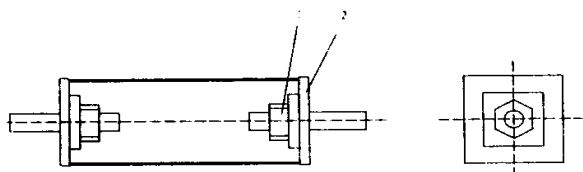


图2 另一种接口方式示意图

1 - 螺母; 2 - 接头盒

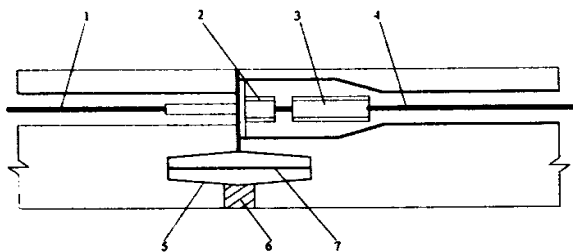


图3 止水结构设计

1、4 - 接杆; 2 - 紧定螺母; 3 - 联结螺母; 5 - 梯形槽;  
6 - 衬垫; 7 - 止水板

## 2.2 挖土平台的设置

大型箱涵的净高一般都  $>4\text{m}$ , 且又多采用人工挖土的方法, 此时箱涵内应设置挖土平台, 将开挖面分成两层或多层, 最常见的是设置中平台, 将挖土面分成上下两层, 这样做可以减少路基挖坡面的高度, 从而增加路基顶入时路基的稳定, 跨度较大的箱涵其挖土平台还需增设中柱或支架, 以增加刚度, 见图 4, 挖土平台可以采用型钢安装在箱涵的预埋钢板上, 也可以采用钢筋混凝土与箱涵同时浇注而成。

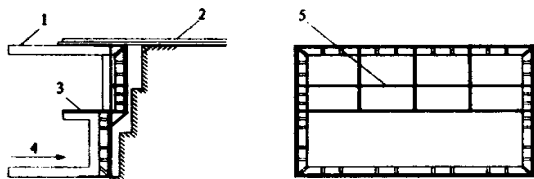


图4 挖土平台示意图

1 - 箱涵顶板; 2 - 加固横梁; 3 - 中平台; 4 - 顶入方向; 5 - 网格支架

## 2.3 大型箱涵顶入时减小顶入阻力的措施

大型箱涵除在顶入前在外壁喷石蜡或涂润滑剂外, 在顶入的过程中也可以采用气垫法减小顶入时的摩擦阻力, 并可以防止和纠正箱涵的扎头现象, 具体做法如下<sup>[2]</sup>:

先在箱涵的预制位置沿箱涵底面的周边设置气裙, 然后在其上立模、浇注涵身混凝土, 使气裙和涵身混凝土联成一体, 如图 5(a) 所示。顶入开始前往气裙内充以压缩空气 (压强为  $p_1$ ), 气裙逐渐膨胀, 使涵身底部与外界隔绝, 此时气裙所起的作用类似于千斤顶中的油封, 然后对气仓 (即气裙所围面积) 充气, 当气仓压强达到  $p_2$ , 且  $p_2 \times A$  涵体重时 ( $A$  为气仓有效面积), 涵体开始上浮, 但因  $p_2 < p_1$ , 涵体虽上浮而气裙仍落在滑板上, 如图 5(b) 所示。对气仓继续充气, 涵体不断上升, 当  $p_2 = p_1$  时, 气仓内的高压空气从气裙下方泄出, 如果高压空气是沿气裙四周均匀的

泄漏, 则气仓可以成为相对稳定的静压区, 从而达到理想的气垫效果。此时, 不仅涵体脱离滑板面, 原来起密封作用的气裙亦浮离滑板面一个高度  $h$ , 即涵体和气裙一起均悬浮在高压空气之上, 在顶镐的施力作用下, 涵体可在较小的顶力下向前移动, 而涵底气仓所形成的静压区亦随之移动, 使得涵体始终处于悬浮状态向前顶入, 如图 5(c) 所示。

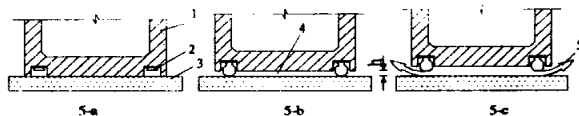


图5 气垫法减阻示意图

1 - 箱涵; 2 - 气裙; 3 - 滑板; 4 - 气仓; 5 - 高压空气

气仓与气裙的布置可根据顶入箱涵的结构尺寸大小决定, 当同时考虑顶入时的纠偏方便时, 可用气裙将气仓分为前后仓, 也可再将前仓分成左右仓, 如图 6 所示。顶入初期, 三个气仓同

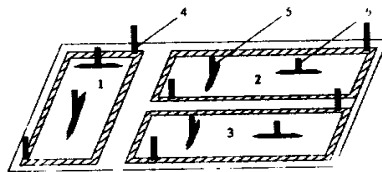


图6 气裙及气仓布置示意图

1 - 后仓; 2 - 前左仓; 3 - 前右仓; 4 - 气裙进气管;  
5 - 测压管; 6 - 气仓进气管

时充气, 当涵体大部分移出滑板后, 可根据涵体标高情况来调整各气仓的进气量, 以达到纠偏的目的。顶入时, 当发现涵体前端下沉较大, 即出现“扎头”现象时, 可使后仓少进气或暂停进气; 若发现左、右水平高差异常时, 则通过减少或暂停前左仓 (或前右仓) 的进气量来调整。气裙可采用橡胶或化纤布等材料加工成密封的袋状结构, 气裙的安装可见有关的规范, 充气管一般采用直径 40mm 左右的镀锌钢管, 预埋在涵身底板内。

## 2.4 既有线路的加固措施

对大型箱涵的顶入施工, 为确保被顶入线路的行车安全及施工安全, 必须在顶入之前对既有线路进行加固, 既有线路一般指铁路和公路。

### 2.4.1 对铁路线路的加固措施

对于小型桥涵的顶入, 轨枕应全部换成木枕, 既有铁路线路可以采用吊轨加固, 拴槽钢法防止铁路线路横移, 如加固的线路为无缝线路, 应将加固范围以外的线路加强锁定, 防止钢轨胀跑。对于大型箱涵的顶入, 如箱顶无覆盖土时, 除设轨束吊梁外, 还应将石渣层换以抬梁, 抬梁的作用是当顶入中发生局部塌方时, 使轨枕仍能保持稳定, 维持通车, 在抬梁的两端及两股线路间也可设置与线路平行的纵梁, 纵梁与抬梁用 U 型螺栓及扣板进行连接, 使抬梁以纵梁为承托, 抬梁一般用 300mm 工字钢或用方木套以槽钢, 抬梁长度一般以梁端距钢轨 3m 即可, 间距 1.5m 为宜, 抬梁的高度应与箱顶与枕木的距离配合好, 吊轨纵横梁加固如图 7 所示。对于浅覆土箱涵的顶入, 也可用扣轨梁与抬梁加固线

路, 但箱顶应设混凝土垫, 扣轨梁的轨数可按抬梁的间距设计, 抬梁一端放在箱顶上, 一端放在路基上, 顶入时为了防止线路横移, 各束扣轨梁之间加枕木撑, 抬梁的终端加立枕木挡墙, 抬梁和扣轨梁可用 U 形卡子连在一起, 形成整体, 如图 8 所示。防止铁路线路横移的加固方法可根据情况采用拴槽钢法或钢板脱壳法等, 具体的做法见有关的规范。

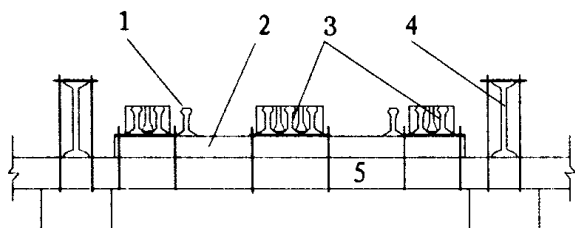


图 7 吊轨纵横梁加固示意图

1 - 钢轨; 2 - 枕木; 3 - 扣轨; 4 - 纵梁; 5 - 抬梁

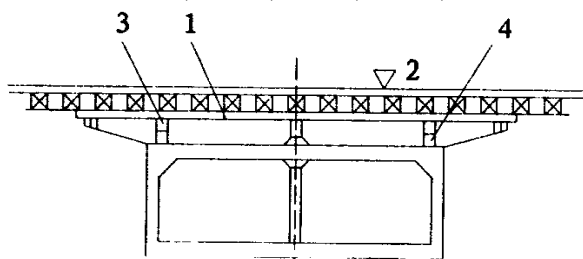


图 8 浅覆土扣轨梁与抬梁加固示意图

1 - 扣轨梁; 2 - 轨面; 3 - 抬梁; 4 - 混凝土垫

#### 2.4.2 对公路线路的加固措施

大型箱涵在公路路基内顶入时, 箱涵的覆土深度一般都较小, 公路路面有可能产生较大的变形。由于一般的公路本身都包括机动车道和供自行车和行人通过的人行道, 人行道和机动车道还要分开, 此时大型箱涵可以设计成四孔, 每个箱涵一孔, 分四次顶入。单孔的设计既可以满足行车方面的要求, 又减小了箱涵每次顶入时的宽度, 此时后背承受的荷载和顶近设备要求的顶力都可以相应的减少, 从而达到降低工程造价的目的, 箱涵宽度的减小还可以使既有路面的变形显著减小, 这对既有线路的正常运营十分重要。下面给出一种箱涵的设计方式供参考, 这种设计方式的主要优点是便于施工, 且可以有效的减少既有路面的变形, 在很多情况下都可以采用, 如图 9 所示。顶入时先顶入两侧的小箱涵, 然后再顶入中间的两个箱涵, 图中小锚杆的作用是为了防止箱涵顶入时土体的错动。

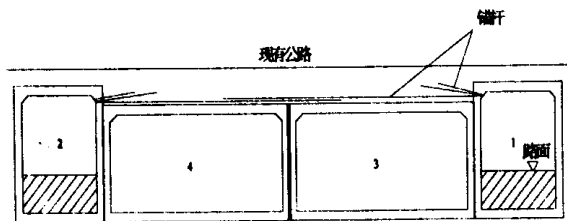


图 9 箱涵断面设计

#### 2.5 土压平衡法施工

土压平衡法箱涵顶入施工是一个全新的施工概念和施工理论, 其特点是适用范围广泛, 通常不必采用辅助施工措施, 而且还可以有效的控制路面的变形。从理论上讲, 掘进机在顶入过程中, 其土仓的压力如果小于掘进机所处土层的主动土压力, 地面就会产生沉降; 反之, 如果在掘进机顶入过程中, 其土仓的压力大于掘进机所处土层的被动土压力, 地面就会隆起。如果我们把土压力控制在主动土压力和被动土压力之间, 就能达到土压平衡。在实际操作中, 在覆土比较深时, 从主动土压力到被动土压力之间的变化范围比较大, 再加上理论计算与实际之间有一定的误差, 所以必须进一步限定土压力的范围。一般常把控制土压力设置在静止土压力加减 20kPa 的范围内; 在覆土比较浅的情况下, 还要把控制土压力的上限与被动土压力进行比较, 如果控制土压力的上限大于被动土压力就必须进行调整; 如果控制土压力的下限小于主动土压力, 同样也要进行调整。

#### 2.6 施工中的监测、反馈、调整与应急措施

大型箱涵的顶部覆土一般都很薄, 而且箱涵的宽度又比较大, 线路很容易产生较大的变形, 影响行车的安全, 所以除了对箱涵的轴向偏位和低仰头进行监测外, 还必须对既有铁路线路的变形和公路路面的变形进行监测, 以便及时发现问题和解决问题。一般可以用全站仪监测箱涵的轴向偏位和低仰头, 用位移计监测既有铁路线路或公路路面的变形, 用土压力盒监测土压力的变化等。当既有铁路线路或公路路面有规范不允许的变形或土压力有明显的变化时, 应该立即停止施工, 妥善处理或采取补救措施以后才能继续施工。大型箱涵顶入中出现的轴向偏位和低仰头的调整与小型箱涵中的相同, 可参考有关的文献, 顶入箱涵就位后的允许偏差如表 1 所示。

表 1 顶入箱涵就位后的允许偏差

序号	项目	允许偏差(mm)	
1	轴线偏位	箱涵长 < 15m	100
		箱涵长 15 ~ 30m	150
		箱涵长 > 30m	300
2	高程	箱涵长 < 15m	+ 30 - 100
		箱涵长 15 ~ 30m	+ 40 - 150
		箱涵长 > 30m	+ 50 - 200
3	相临两节高差	30	

大型箱涵在公路路基内顶入时, 一旦产生塌方现象或虽未产生塌方但路面产生了较大的变形, 都会影响既有线路的行车安全, 甚至中断行车造成巨大的交通事故, 所以必须采取出现意外的应急措施, 应急措施可与公路的加固措施综合考虑。还有一点应该引起注意, 就是箱涵的偏转问题, 箱涵在推进中一旦产生偏转要纠正过来是比较困难的, 目前最好的校正方法就是在高的一侧加些配重, 别无更好的方法。此外, 在施工中遇到的有关设备的调试、顶入、质量控制、注意事项等可参阅有关的文献, 在此不做赘述。

#### 参考文献:

- [1] 余彬泉, 陈传灿. 顶管施工技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [2] 公路施工手册 (桥涵顶入) [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.