

# 超大断面箱涵顶进注浆施工工艺研究

刘新文

中国电建集团港航建设有限公司, 天津 300457

**[摘要]**现阶段超大断面箱涵顶进注浆施工工艺在工程建设过程中得到了广泛的应用,在进行注浆施工时先采用小口径钢管构建水平维护结构,然后再将箱涵进行顶进,最终实现大断面地下空间结构。通常在进行普通箱涵顶进施工时需要在箱涵管内部先预留注浆孔,然后再注入膨润土为主料的复合泥浆,最终可以降低泥浆套摩阻力。近些年来,国内外相关专家对顶进触变注浆作用及泥浆机理进行了更进一步的研究,通过减摩工艺对施工现场进行指导。采用此种施工技术时管幕与箱涵间存在间隙,采用正面开挖时应将间隙保留到原状体重,但是此种情况下会有超挖现象,采用此种注浆工艺进行施工时应先解决箱涵顶进所产生的摩阻力,如果此种情况没有做好处理无法为上部管幕提供支撑力,同时大断面箱涵结构会受到运输、吊装等方面的影响,所以多会采用现场浇筑作业方式,并做好后期养护工作,在这个过程中如果没有对浆液中的水分进行控制在填充时会导致上部结构出现变形或地面沉降现象。在施工中采用钢管幕与箱涵间的缝隙并注入一定厚度的厚浆与稀浆,可以降低箱涵顶进过程中周边摩阻力并有效避免地面沉降现象,提升箱涵施工质量。

**[关键词]**超大断面箱涵;顶进注浆;施工工艺

DOI: 10.33142/sca.v4i2.3813

中图分类号: U449.82

文献标识码: A

## Research on Jacking Grouting Construction Technology of Super Large Section Box Culvert

LIU Xinwen

Power China Harbour CO.,LTD., Tianjin, 300457, China

**Abstract:** At the present stage, the jacking grouting construction technology of super large section box culvert has been widely used in the process of engineering construction. In the grouting construction, the small diameter steel pipe is used to construct the horizontal maintenance structure, then the box culvert is jacked and finally the large section underground space structure is realized. Usually, in the jacking construction of ordinary box culvert, it is necessary to reserve grouting holes in the box culvert pipe and then inject the composite slurry with bentonite as the main material, which can ultimately reduce the friction of the slurry sleeve. In recent years, relevant experts at home and abroad have carried out further research on jacking thixotropy grouting effect and slurry mechanism and guided the construction site through friction reduction technology. When using this construction technology, there is a gap between the pipe curtain and the box culvert. When using the front excavation, the gap should be kept to the original state, but there will be over excavation in this case. When using this grouting technology, the friction caused by the jacking of the box culvert should be solved first. If this situation is not handled properly, it can not provide support for the upper pipe curtain. At the same time, the large section box culvert structure will be affected by transportation, hoisting and other aspects, so the site pouring operation mode will be adopted, and the later maintenance work will be done well. In this process, if the water in the slurry is not controlled, the deformation or ground settlement of the upper structure will occur when filling. In the construction, the gap between the steel pipe curtain and the box culvert and the injection of a certain thickness of thick and thin slurry can reduce the peripheral friction during the jacking process of the box culvert, effectively avoid the phenomenon of land subsidence, and improve the construction quality of the box culvert.

**Keywords:** super large section box culvert; jacking grouting; construction technology

### 1 做好注浆浆液试验并落实控制标准

推进箱涵时注浆系统主要分为注浆(A浆)与补充注浆(B浆),这两个注浆系统是单独存在的,浆液性能不同所以采用的注浆工艺及设备也存在区别。在进行同步注浆过程中(A浆)为厚浆,在应用时应确保浆液整体性能与以下要求相符:(1)采用泵送方式,在泵送过程中应确保其畅通性,避免堵管现象。(2)浆液灌注时应确保其具有良好的流动性,在填充管幕与箱涵之间空隙时可采用快速填充方式。(3)确保具有良好的支撑性,有效避免地表沉降现象。

(4)确保其具有良好的润滑性,只有保证具有良好的润滑性才能对管幕与箱涵间的摩阻力进行控制并可以降低推进力。(5)确保其具有良好的保水性。在长期载荷的状态下应保证保水性与润滑性。要想保证泵送性应合理相应的设备完成试验验证;测试流动性与塌落度;控制保水性与滤失量;在进行支撑性与润滑性测试时可以在实验室采用圆柱筒

试验方式与十字板剪切试验方式进行试验,可以利用六速旋转流变设备合理控制转速、扭矩完成不同浆液的配置。补充注浆(B浆)可以减少摩阻力。其中膨润土、高分子添加剂、分散剂是组成两个系统浆液的主要成分。在进行同步灌注时应严格控制厚浆(A浆)配比参数、密度、塌落度、摩阻力系数、失水率等。采用反复多次试验方式将厚浆密度控制在 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ ,塌落度控制在180mm至220mm;摩擦阻力系数控制在 $0.5\text{kN}/\text{m}^2\sim 2\text{kN}/\text{m}^2$ ;滤失量控制在15毫升以内。严格控制稀浆(B浆)的配比参数、密度、漏斗粘度、塑性粘度、动静切力。通过试验将稀浆浆液密度控制在 $1.03\text{g}/\text{cm}^3\sim 1.05\text{g}/\text{cm}^3$ ;漏斗粘度控制及塑性粘度分别控制在 $(25\pm 2)\text{s}$ 、 $11\text{MPa}\cdot\text{s}\sim 11.5\text{MPa}\cdot\text{s}$ ;动切力控制在 $15\text{Pa}\sim 20\text{Pa}$ ;静切力控制在(10min) $10\text{Pa}\sim 12\text{Pa}$ 。在配置浆液时在了解顶力后合理控制沉降现象,并采用试验方式对泥浆配置情况进行适当调整<sup>[1]</sup>。

## 2 施工工艺分析

### 2.1 合理设置箱涵注浆孔

箱涵面积相对较大,因此为了确保机头尾部箱涵与周边土体间的空隙在机头向前推进过程中应同步将A浆进行灌注,因此应合理设置注浆孔数量及注浆截面,通过此来满足同步箱涵及周边土体间隙设计要求。在进行注浆截面设置时应确保机头尾部与箱涵连接的稳定性并通过电动球阀对断面A降进行同步注压,同时将实时监控设备安装到顶部位置对浆液压力进行控制(见图1)。

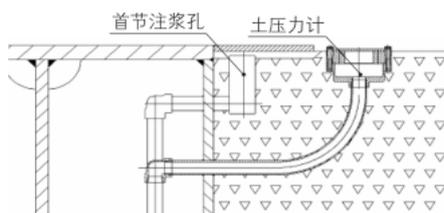


图1 箱涵首断面注浆孔布置图

在进行箱涵推进时将A浆进行同时注入会出现损耗现象且注浆压力也会随之降低。要想确保箱涵体外泥浆压力及饱满度满足要求在第一个注浆断面施工完成后应做好注浆孔及补浆截面设置工作。可以每个3m设置一个注浆断面,最终到每节箱涵末端并实时监测沉降情况,在进行A浆注入时可以采用手动方式对压力进行控制,可以参考图2。

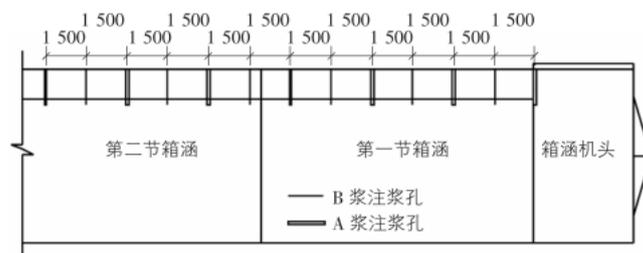


图2 箱涵注浆孔纵向断面分布图

此外,要想降低箱涵顶进阻力应严格控制箱涵顶部泥浆压力盒子、埋入深度、推力大小、沉降情况并采用B浆进行及时补充。对箱涵截面进行考虑并做好补浆孔设置,确保其满足补浆设计要求。完成机头末端第一个同步注浆断面施工后应间隔1.5m再设置一个补浆断面,后面再每间隔3m设置一个补浆断面。补浆灌注孔采用钢管预埋方式先设置在箱涵内,厚浆灌注控制在D50、稀浆灌注控制在D25。其中第一个同步注浆断面可以将电磁阀安装到注浆管内。厚浆注浆管位置设置钢板挡环,注浆管设置到钢板挡环下方位置,从而可以降低摩阻力,在保证浆液灌注均匀度的同时避免土层出现直接冲击<sup>[2]</sup>。

### 2.2 厚浆注入施工

厚浆注入时应在完成第一个截面完成后再完成后续断面补浆作业。第一个截面注浆孔相对较多,可以采用分组多泵注浆方式。整体截面可以设置四组并采用四个注浆泵进行注浆,在注浆时可以采用侧排、顶排注浆方式,可参考图3。

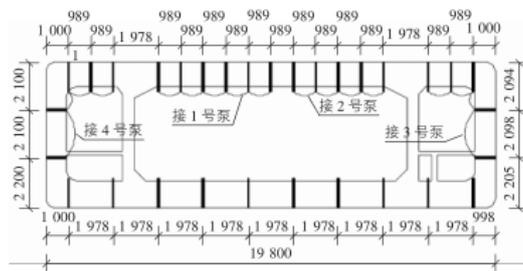


图3 同步注浆（厚浆）注浆孔分组图

利用四台泵送装置进行同步注浆，通常采用 SYB120/10 型黏土输送泵装置，可以参见图 4。排量可以控制在每分钟 120L，压力控制在 10MPa，采用恒功率输送泵，将电机功率控制在 30kW。



图4 SYB120/10 型黏土输送泵

采用黏土输送泵完成黏土输送工作，输送系统主要包括自动上料设备、拌和设备及泵送设备。将组合料配置好后填入到上料系统中，然后输送到自动拌和系统中，根据实际情况合理设置拌和时间，浆液可以利用箱涵内部管道、手动浆液闸阀、电动浆液闸阀将浆液分别输送到四台黏土泵中。箱涵在推进的过程中应保证四台黏土输送泵可以移动，混凝土顶块、箱涵浇筑下方时渡过停滞期时应做好监测工作，在输送泵移动过程中可以将 A 浆进行关注，可参见图 5。



图5 专用黏土输送站

### 2.3 稀浆注入施工

在进行顶进施工时应控制推力大小、沉降监控、箱涵顶部预埋浆液压力盒等使用情况并做好 B 浆补充。顶进箱涵 B 浆注入时应将第一个稀浆注浆断面设置在机头末端 3m 位置并在每个台班进行一次灌注。箱涵浇筑推进处于停滞状态时在了解顶进距离后可以在断面位置完成补浆作业，每天循环完成两次。在进行稀浆注浆断面施工时可以设置 24 个注浆孔，一个球阀可以控制三个注浆孔。利用两部注浆设备分别负责一半区域中的四个球阀注浆作业，将单个球阀注浆时间控制在 30 秒。稀浆注浆时可以采用往复式活塞泵，可参见图 6。

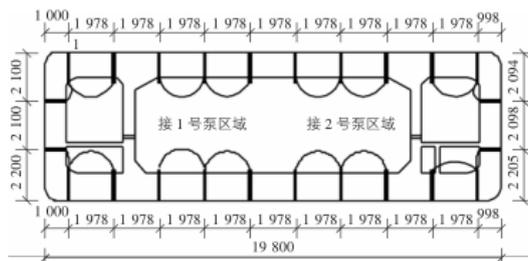


图6 稀浆的注浆孔分组图

## 2.4 控制注浆量及压力

将第一个同步注浆断面设置在机头尾部与箱涵连接位置,将顶程范围控制在 1.5m 并将空隙进行填满。在对不利现象进行综合考虑后机头会出现背土情况,箱涵与管幕间存在 10cm 土体或完全流失。在保证管幕止水密封性能后注浆充盈系数应设置为 2。通常情况下建筑空间机头与箱涵间隙为 2cm,但是机头出现边背土现象时箱涵与管幕间存在 10cm 土体或流失现象。此外,控制常规顶管、盾构施工注浆量,在保证管幕止水密封性能后将浆液灌注到建筑空隙中,消散时间较长且应合理选择充盈系数。顶进速度控制在每分钟 20mm 至 30mm,第一个断面可以采用四个固定泵进行控制,各固定泵可以控制三个注浆孔,单孔注浆时间可以控制在 1 min,灌注间隔控制在 2min,也就是将一次循环时间控制在 3 min。例如,单孔注浆时间在 1 分钟内应对纵向长度进行控制,通常在 12cm,横向范围控制在 2m。完成单次循环后顶板每个孔的注浆量控制在  $0.12 \times 2 \times 0.1 \times 3 = 0.072\text{m}^3$ 。侧墙注浆孔每个孔的注浆量控制在  $3.2 \times 0.02 \times 0.12 \times 3 = 0.023\text{m}^3$ 。对每节顶铁顶进距离进行合理控制,可以分为 13 个循环期,将单泵注浆量中的 1 号与 2 号注浆泵控制在  $13 \times 3 \times 0.072 = 2.808\text{m}^3$ 、3 号与 4 号注浆泵控制在  $13 \times (2 \times 0.072 + 2 \times 0.023) = 2.47\text{m}^3$ 。采用 B 浆进行关注时应采用一次性灌注方式,同时应综合考虑箱涵推动力大小、顶部预埋泥浆压力盒、沉降监测等情况,箱涵顶进过程中可以采用手动方式完成 B 浆灌注。监测排管幕注浆量与压力监测数据并根据实际情况进行调整。

## 2.5 控制固化注浆沉降情况

完成箱涵施工后应做好周围泥浆固化工作,可以将箱涵与管幕位置泥浆进行置换,避免中环线位置地下管线、中环线出现沉降现象。在进行泥浆置换时可以采用水泥与粉煤灰混合材料,其中粉煤灰使用量为 30%。控制箱涵周围水泥浆上部荷载。箱涵周边每间隔 6m 可以设置一条注浆断面并完成水泥浆注入施工,控制注浆压力及注入量并避免变形现象,地面隆起不可超过 3cm,泥浆凝固后可以每隔 6m 设置一条横向支撑梁并将梁泥浆固化情况进行控制,管幕可以传递荷载并可以避免箱涵出现沉降现象。

## 3 结语

箱涵顶进时可以使用厚浆作为主要施工材料,其具有较好的支撑能力、保水能力,可以提高整体泥浆结构的承载力,并可以对大断面箱涵顶进过程进行控制,避免沉降现象。稀浆注入时应保证其具有良好的润滑度并降低摩阻力,避免箱涵结构过程中出现停机或厚浆失水固结、失效等现象。厚浆与稀浆结合使用后可以为大断面箱涵顶进施工安全提供条件并可以避免沉降现象,从而保证施工质量<sup>[3]</sup>。

### [参考文献]

- [1]张怡.软土地基大体积箱涵顶进施工技术探讨[J].工程技术研究,2019(23):33-34.
  - [2]黄建华,陈月香,王蕴晨,等.大断面顶管工程减摩泥浆配合比实验研究[J].福建工程学院学报,2019(3):212-218.
  - [3]周浩,周千淼,谈力昕,等.考虑注浆作用的矩形顶管竖向土压力计算模型研究[J].地质科技通报,2020(2):77-85.
- 作者简介:刘新文(1974.1-),工作单位:中国电建集团港航建设有限公司。