

中国公路建设行业协会标准 (T/CHCA)

公路箱涵下穿铁路顶进施工技术指南

征求意见稿

编制单位：中铁六局集团天津铁路建设有限公司

目录

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	1
	2.0 术语.....	1
	2.1 符号.....	2
3	施工准备.....	2
	3.0 一般规定.....	2
	3.1 现场调查.....	3
	3.2 技术准备.....	3
	3.3 施工测量及监测.....	4
	3.4 相关试验.....	5
4	既有铁路路基防护及加固.....	5
	4.0 一般规定.....	5
	4.1 路基防护桩.....	6
	4.2 路基注浆加固.....	6
5	工作坑.....	8
	5.0 一般规定.....	8
	5.1 工作坑降排水.....	9
	5.2 工作坑防护.....	9
	5.3 工作坑开挖.....	10
	5.4 工作坑监测.....	11
6	箱涵预制.....	11
	6.0 一般规定.....	11
	6.1 模板.....	12
	6.2 钢筋.....	13
	6.3 支架体系.....	14
	6.4 混凝土浇筑.....	16
	6.5 箱涵防水.....	17
	6.6 补齐.....	19
7	顶进设施.....	19

7.0 一般规定.....	19
7.1 工作坑滑板.....	20
7.2 后背.....	21
7.3 顶进设备.....	21
8 箱涵顶进施工.....	22
8.0 一般规定.....	22
8.1 一次顶入法.....	23
8.2 对顶法.....	25
8.3 中继间法.....	25
8.4 拆旧顶新法.....	27
8.5 二维顶进法.....	28
8.6 无抗移桩顶进法.....	29
8.7 纠偏措施.....	30
9 涵管顶进.....	31
9.0 一般规定.....	31
9.1 工作坑.....	31
9.2 设备安装.....	32
9.3 顶进.....	34
9.4 触变泥浆及注浆.....	37
10 其他附属工程.....	38
10.0 箱涵栏杆、电缆槽.....	38
10.1 出入口挡墙.....	39
11 环境保护.....	39
附表一 井点降水适用范围.....	40
附表二 相关试验内容.....	41
本技术指南用词说明.....	45
本技术指南条文说明.....	46
4.2.2 注浆.....	46
5.2.3-1 在深工作坑工程中，止水帷幕一般采用竖向止水帷幕。.....	47
5.2.3-2 钢板桩施工.....	49

5.2.3-3 钢支撑施工.....	51
5.2.3-4 喷锚防护.....	52
5.4.4 工作坑周围建筑物的检测具体观测指标如下：	53
6.3.2 脚手架计算.....	54
6.4.1 混凝土热工计算.....	55
7.2.4 后背.....	56
7.3.10 顶进设备.....	56
8.4.2 切割拆除.....	57

征求意见稿

公路箱涵下穿铁路顶进施工技术指南

1 总则

- 1.0.1 为规范公路箱涵下穿铁路顶进施工工艺，统一顶进施工技术标准，加强施工管理，保证工程质量和安全，制定本技术指南。
- 1.0.2 本技术指南适用于各级公路箱涵下穿铁路顶进施工。
- 1.0.3 使用新设备、新技术、新材料、新工艺，必须经过试验和技术鉴定，并制定可行的技术措施、安全措施，形成新的技术工艺标准补充条文。
- 1.0.4 本技术指南内容与国家及铁路总公司的标准、规范、指南有抵触或不符之处，按国家及铁路总公司的标准、规范、指南有关规定执行。
- 1.0.5 严格按照施工图施工，在图纸审核中如发现设计图与国家及铁路总公司规范有抵触之处，由施工单位向设计单位、工程监理或建设单位反映解决，在明确意见后再行施工。
- 1.0.6 开工前现场施工管理人员应将各分部分项工程的施工准备、施工工艺、工艺标准、质量要求、注意事项等向操作人员分层交底，特别是一些关键和特殊工序，应重点强调，并编制作业指导书或专项施工方案。
- 1.0.7 操作人员应领会交底内容，如有不明之处，须向施工技术人员询问清楚，施工过程中应执行自检、互检、交接检制度，发现问题及时整改。
- 1.0.8 施工过程中，按工程质量验收标准进行定期或不定期的检查，发现问题及时处理。
- 1.0.9 工程完工后，施工技术管理人员组织班组长对照本技术指南检查贯彻落实情况及效果，分析问题，总结经验，不断提高施工工艺水平。

2 术语和符号

2.0 术语

2.0.1 旋喷桩 Jet grouting pile

利用钻机把带有可旋转喷嘴的注浆管钻入土层的预定位置，以高压浆液从喷嘴中喷射出去，冲击破坏土体，与浆液搅拌混合形成的桩体。

2.0.2 顶进箱涵 Pushing box and culvert

用顶进方法穿越既有铁路路基施工的箱涵。

2.0.3 箱涵 Box brige

具有整体箱型结构的箱涵。

2.0.4 滑板 Box culvert skateboard

滑板用于箱涵顶进，既是制作箱涵的支撑面又是对箱涵启动起决定作用，要求光滑平整，有足够的强度，不得移动。

2.0.5 后背 Box culvert top into back

承受箱涵推进全部水平推力的结构。

2.0.6 锁定轨温 Fastening-down temperature of rail

无缝线路温度力为“零”时的钢轨温度。

2.0.7 信号 Signal

信号是指示列车运行及调车作业的命令，有关行车人员必须严格执行。

2.1 符号

P—最大顶力 (kN)；

K—系数；

H—箱涵结构总高 (m)；

R—曲线半径(m)；

N_1 —箱涵顶上总荷重（包括线路加固荷载）(kN)；

f_1 —箱涵顶上表面与顶上荷重的摩阻系数；

N_2 —箱涵自重 (kN)；

f_2 —箱涵底板与基底土的摩阻系数；

E—箱涵两侧土压力 (kN)；

f_3 —侧面摩阻系数；

A—刃角正面面积 (m^2)。

3 施工准备

3.0 一般规定

3.0.1 施工单位应在全面熟悉设计文件的基础上，充分了解设计标准、技术条件和要求，对设计文件进行核查，并做好核查记录。

3.0.2 箱涵顶进之前，根据工程特点，依据设计文件，应对工程进行现场实地调查，编制调查报告。

3.0.3 施工前应编制以下专项施工方案：工作坑开挖、箱涵预制、脚手架搭设与拆除、

线路加固与恢复、箱涵顶进等施工方案。

3.0.4 收集、学习、培训各类施工管理文件，并按铁路总公司及相关铁路公司集团公司的要求办理铁路营业线施工手续。

3.1 现场调查

3.1.1 对箱涵施工范围内的地形地貌、地质、气象等进行调查，调查包括以下内容：

- 1 施工地点的地形、地貌、地基土种类及物理化学性质。
- 2 地下水位标高、含水层的渗透系数、流量、地面排水情况及汇水面积。
- 3 当地的气象资料，包括气温、降水、冰冻、台风等。

3.1.2 对施工地段铁路情况进行调查，调查包括以下内容：

1 既有铁路或站场股道设施状况，包括既有铁路股道数、铁路纵坡及方向、轨型、枕型、曲线要素、道岔、线间距、轨道标高、无缝线路锁定温度、轨道电路、信号和联锁闭塞方式等。

2 既有铁路容许限速条件、日通过列车对数及间隔时间等。

3 施工范围内的既有箱涵或其他圬工设备竣工图及相关技术资料。

3.1.3 对施工地点周围环境进行调查，调查包括以下内容：

1 给水的水源、水质、接管地点；供电能力、用电负荷、变压器设置；电话安装条件；手机信号情况。

2 各种材料的生产供应情况、价格、品种、运距等，尤其应对商品混凝土的供应（包括运输道路）进行全面调查。

3 交通道路和施工运输条件，附近居民情况。

4 弃土（包括泥浆）地点和路径、污染和周边建筑物及构筑物影响情况。

5 施工范围内地上地下各种设施及管线的种类、结构、位置、用途、产权单位。

3.2 技术准备

3.2.1 熟悉、审查施工图纸和有关的设计资料，审查设计图纸与说明书在内容上是否一致。

3.2.2 准备开工资料并报审。

3.2.3 施工组织设计已获批准，施工方法、施工顺序已经确定。

3.2.4 全体施工人员进行培训、技术安全交底。

3.2.5 既有铁路主管部门相关审批验收手续已完成。

3.2.6 防护员、驻站员已经进行培训、考试并取得合格证。

3.3 施工测量及监测

3.3.1 控制点复测

1 设计交桩后，施工单位应对施工控制点进行复测。对高程控制网每季度复测一次，对平面控制网半年复测一次。

2 根据设计交桩高程控制点精度要求，要使技术要求、观测方法、仪器限差设置、内业数据计算均满足规范要求。高程复测采用附和水准路线进行测量。

3.3.2 施工测量

现场施工测量放样内容主要包括：钻孔桩放样、冠梁放样、工作坑坡脚位置、箱涵预制位置及箱涵顶进观测；其中箱涵顶进观测是下穿铁路工程的重中之重，确保与相邻道路或结构的轴线符合设计要求。

3.3.3 施工监测

箱涵施工过程中需对轨道、路基、工作坑、周围建（构）筑物、邻近地下管线、地下水位等进行有效监测。施工过程中应与第三方监测单位相互配合，对达到或超过监控量测报警值的情况及时进行原因分析并采取切实可行的应急措施。

3.3.4 箱涵顶进过程中测量

1 高程控制：

箱涵顶进施工前，在箱涵顶板上四角位置处设置高程观测点阵列。观测仪器架设在基坑外侧稳定区域，箱涵顶进施工前对观测点高程进行测量采集，箱涵顶进过程中，在每次顶进完成后，立即对箱涵四角高程点进行观测。测量完成后，对比本次顶进前后箱涵高程的数据变化，并将结果通知项目负责人，项目负责人根据箱涵高程的变化情况组织下一次箱涵顶进。

2 轴线控制：

在箱涵顶进施工前，在箱涵前后两端顶板中轴线位置处设置方向观测点。观测仪器架设在基坑外侧控制点上，箱涵顶进施工前对观测点坐标进行测量采集，箱涵顶进过程中，在每次顶进完成后，立即对箱涵轴线坐标点进行观测。测量完成后，对比本次顶进前后箱涵高程的数据变化，并将结果通知项目负责人，项目负责人根据箱涵高程的变化情况组织下一次箱涵顶进。

3.3.5 箱涵顶进就位后测量

顶进就位后，采用仪器再次对箱涵的位置进行测量，确定顶进就位后的最终的位置。就位偏差符合表 3.3.5 要求。

表 3.3.5 箱涵顶进后允许偏差表

项目		规定值或允许偏差	
		箱涵	圆管
轴线偏位 (mm)	涵长<15m	100	50
	涵长 15~30m	150	100
	涵长>30m	300	200
高程 (mm)	涵长<15m	+30, -100	±20
	涵长 15~30m	+40, -150	±40
	涵长>30m	+50, -200	+50, -100
相邻两节高差 (mm)		30	20

3.4 相关试验

3.4.1 在箱涵施工的全过程中应对其所用的原材料的质量按规定频次和时间要求进行试验和检测，并将其资料完整保存，归档纳入竣工文件。

3.4.2 混凝土应根据强度等级、耐久性等要求和原材料品质以及施工工艺等进行配合比设计。混凝土配合比应通过计算、试配、试件检测后经调整确定。配制的混凝土应能满足设计强度等级、总碱含量、设计要求、耐久性指标和施工工艺等要求。混凝土配合比选定试验的检验项目应符合设计、标准的规定。

3.4.3 顶进工作坑开挖前和顶进前对桩基进行检测，顶进工作坑开挖后和路基加固后应进行地基承载力检测，均应符合设计及规范要求。

3.4.4 在箱涵顶进就位后对箱涵两侧影响范围内的路基进行物探检测。

3.4.5 相关试验内容详见附表二。

4 既有铁路路基防护及加固

4.0 一般规定

4.0.1 在箱涵顶进前根据设计要求需对铁路路基进行加固处理，铁路路基本体加固宜采用注浆加固的方式，铁路路基边坡防护宜采用路基防护桩的方式。

4.0.2 路基加固及防护施工方案应报所属铁路公司审批，施工过程中应严格遵守既有线施工的安全规定。

4.0.3 施工前应按设计要求设置路基降水井、观测井。

4.1 路基防护桩

4.1.1 路基防护桩、支撑桩、抗移桩可采用人工挖孔桩、钻孔灌注桩等施工工艺，对于既有线线间内的桩基施工，宜采用人工挖孔桩施工工艺，施工前应制定挖孔桩专项施工方案。

4.1.2 人工挖孔桩开挖应采用人工分节挖土法，护壁宜采用内撑式组合钢模，一般每挖深 1.0m 进行护壁一次，在土质较差有塌方危险时，应减短护壁频次，每节桩孔成型后应立即灌筑护壁混凝土。混凝土可采用人工拌合，吊桶运送混凝土入模，人工插捣。护壁节间应设置有效连接。

4.1.3 采用钻孔灌注桩施工工艺时，现场应设置泥浆池及泥浆收集装置，废弃的泥浆、钻渣应进行处理，不得污染环境。灌注混凝土前，清孔后的泥浆相对密度应小于 1.10，含砂率不得大于 2%。

4.1.4 挖孔达到设计孔深后，应进行成孔检验，孔深、孔径应符合设计要求。

4.1.5 孔深达到设计标高后不得闲置，应立即安装钢筋笼。钢筋笼安装完毕后，应立即向监理工程师报检，合格后应立即进行桩身混凝土灌注施工。根据现场情况选用地泵、泵车或混凝土车直接灌注。桩身混凝土自由下落高度不得超过 2m。桩体及冠梁混凝土达到设计强度的 100%后，方可进行下一步工序施工。

4.2 路基注浆加固

4.2.1 路基注浆加固宜采用水泥浆或水泥、水玻璃双浆液等形式。具体方法应根据施工设计方案经现场试验确定。

4.2.2 注浆工艺参数包括：注浆压力、扩散半径、注浆深度、注浆孔直径、注浆孔间距、浆液配合比。具体注浆参数见附 4.2.2 条文说明。

4.2.3 路基注浆工艺流程

注浆孔定位放样→注浆孔检查→安装压浆管设备→开始注浆→检查注浆成果。

4.2.4 路基注浆施工工艺

1 注浆孔定位放样：

(1) 测量组对注浆孔进行测量放样，确定孔位。

(2) 待杆件上制作好出浆孔时，采用小型设备将钢花管冲击打入路基及基坑相对应的地层深度。

(3) 钢花管连接采用承插式连接，接头采用套管连接法将两节钢花管连接在一起，为保证接头部位不漏压漏浆，接头在套管连接部位应焊实。

2 注浆：

(1) 利用注浆钢花管进行注浆，注浆前应对注浆钢花管进行检查，保证钢花管畅通，无堵塞。

(2) 注浆过程中流量计及压力表等设备应该齐全完好。根据浆液流量、注浆压力特征动态调整浆液水灰比。注浆前后控制浆液由稀到浓，根据具体情况逐步提高浆液浓度和注浆压力。

(3) 注浆顺序宜先考虑路基外侧，后内侧，路基两侧应同时对称注浆，以免路基地层变形。

(4) 注浆根据不同深度，采用不同规格的花杆进行长度搭配，使每次提升时浆孔顶点满足标高要求及注浆要求。

(5) 注浆随着深度的不同，注浆压力应随时调节。

(6) 为防止注浆隆起，可加密注浆孔，适当减小注浆压力。

3 注浆达到下列标准时，应结束该孔注浆：

(1) 注浆量满足设计要求，注浆压力在工艺范围。

(2) 注浆孔口压力突然上升，注浆难以注入。

(3) 路基面跑浆、路基出现异常。

4.2.5 采用压密注浆施工方案对土体进行压密渗透注浆，注浆压力按试验参数进行确定。

4.2.6 注浆顺序应适合地基条件、现场环境及注浆目的，应自下而上进行注浆。

4.2.7 注浆量监测：采用双控法鉴定注浆效果，即压力控制与返浆控制，或者能保证试验得出的压力值，或者见到浆液返出可认为该孔注浆完成。注浆过程中，应设专人盯控注浆机压力表，发生压力超限时，立即停机，宜成孔一批后集中注浆。

4.2.8 注浆过程中应加强地面观测、监控记录，包括路基面及轨顶标高变化、冒浆点位置、地面异常等。在注浆加固范围线路上每 5m 左右设置一观测点，压浆施工时对注浆加固及两侧 5m 测点进行监测，线路工配合线路整修，通过观测点的高程变化反映线路变化情况。发现线路变化或列车通过时应立即停止注浆，整修线路。

4.2.9 注意检查压力、流量、浆液及周围环境变化，认真记录并及时调整注浆参数，做到施工过程动态控制。

5 工作坑

5.0 一般规定

5.0.1 工作坑开挖前应按地质、水文资料和环保要求，结合现场情况，制定施工方案，施工方案内容包括开挖尺寸、开挖坡度、开挖方式、弃土位置和防排水措施等。

5.0.2 工作坑开挖前，应通知铁路设备单位按照营业线施工计划派人现场监护，挖探地下光电缆位置，需割接的提前通知设备单位割接，需改移的在设备单位的监护下实施改移。

5.0.3 工作坑宜在枯水或少雨季节开挖，开挖不宜间断。若无法避开汛期时，应制定汛期开挖措施，并办理铁路汛期施工手续。

5.0.4 施工降水前应编制专项施工方案。抽排出的水应进行处理，妥善排出场外，防止倒灌流入基坑。降水井完工后，需测定各井口和地面标高、静止水位，然后开始试运行，以检查抽水设备、抽水与排水系统能否满足降水要求。

5.0.5 降水过程中应不定期检查降水设备是否正常运行；开挖过程中注意对降水井的保护，严禁挖土机破坏。集水明排设施与市政管网接口之间设置沉淀池。明沟、集水井、沉淀池使用时应保持排水畅通并应随时处理淤积物。

5.0.6 当地下水位较高时，宜采用隔水帷幕阻止工作坑外地下水流入工作坑内部。隔水帷幕方法一般为深层水泥土搅拌桩帷幕或高压喷射注浆帷幕。

5.0.7 工作坑的围护结构一般采用钢板桩、灌注桩的形式。

5.0.8 基坑开挖前，降水、支护结构、基坑土体加固等应达到设计和施工要求。

5.0.9 工作坑顶部有动载时，坑顶缘与动载间应留有保证足够安全距离的护道，当动载过大或地质、水文条件不良时，应进行工作坑开挖边坡检算，根据检算结果确定采用增宽护道等加固措施。

5.0.10 弃土应统筹安排，不得妨碍施工。基坑开挖的土方不应在邻近建筑及基坑周边影响范围内堆放，应堆弃在指定地点，并应及时外运，不得淤塞河道、污染环境。

5.0.11 工作坑土方施工应对支护结构、周围环境进行观察和监测，发现异常情况时应妥善处理，工作坑坑壁坡度应确保边坡稳定、施工安全。

5.1 工作坑降排水

5.1.1 箱涵工作坑及顶进施工范围内，应保持干燥施工，地下水位应低于工作坑底 0.5m 以上。工作坑底四周应设排水沟和集水井，坑顶周围应有防排地表水的措施。工作坑应采用集水明排、降水井降排水。

5.1.2 当工作坑开挖不是很深，工作坑涌水量不是很大时，宜采用集水明排法进行降水施工。明沟宜布置在滑板边 0.4m 以外，沟边缘离开边坡脚应不小于 0.3m。明沟的底面应比挖土面低 0.3~0.4m。集水井底面应比沟底面低 0.5m 以上，每隔 20~40m 设一个，并随基坑的挖深而加深，以保持水流畅通。明沟的坡度不宜小于 0.3%，沟底应采取防冲措施。

5.1.3 工作坑开挖较深，工作坑涌水量大且有围护结构时，宜采用井点降水方法进行降水施工。井点降水方法常用轻型井点降水及管井降水。

5.1.4 工作坑宽度小于 6m 且降水深度不超过 6m 时，可采用单排轻型井点，布置在地下水上游一侧；当工作坑宽度大于 6m 或渗水系数较大时，宜采用双排轻型井点，布置在工作坑两侧。轻型井点宜采用金属管，井管距坑壁不应小于 1~1.5m；井点间距一般为 0.8~1.6m。

5.1.5 采用管井降水方法时，应根据管井降水影响半径及降水深度确定管井间距，布置在工作坑四周。

5.1.6 管井井点滤水井管的埋设，可选用钻孔法成孔。孔径应较井管直径大 200mm 以上。井管沉前应清孔，并保持滤网的畅通。井管与土壁之间应设置滤层。吸水管底端应装逆止阀，设于管井内抽水时的最低水位以下。降水过程中应对抽水设备进行检查。按时观测井管内水位和流量等，并做好记录。

5.1.7 工作坑排出的水应以水管或水槽引至基坑范围以外。

5.1.8 在降排水过程中，应加强降排水系统的维护和检查，保证不间断抽水，并应随时观测线路变化情况，发现问题立即处理，保证铁路行车安全。

5.2 工作坑防护

5.2.1 工作坑开挖时，按设计要求对前迎坡面进行喷射混凝土防护。

5.2.2 喷射混凝土护壁应符合下列规定：

1 喷射混凝土护壁适用于坑壁稳定性较好、渗水量较少的工作坑；喷护工作坑的深度应按地质条件决定，但不宜超过 10m。喷射作业的环境温度不得低于 5℃。

2 工作坑开挖前，应在坑口顶缘采取加固措施，防止土层坍塌。

3 根据土质与渗水情况，每次下挖 0.5~1.0m，并应及时喷护，对无水或少水坑壁，喷射顺序应由下而上，对渗水坑壁应先处理渗漏水处再喷射，并应从远离渗漏水处开始，逐渐向渗漏水处逼近。

4 喷射混凝土终凝 2h 后，应进行湿润养护，养护时间不得小于 14d。

5 开挖工作坑遇有较大渗水时，可采取下列措施：

(1) 每层开挖深度不大于 0.5m，随挖随喷，汇水坑应设于工作坑中心。

(2) 开挖进入含水层时，宜扩挖 40cm，以石料码砌扩挖部位，并在表面喷射一层 5-8cm 厚的混凝土。

(3) 对流砂、淤泥等夹层，除打入小木桩外，在桩间缠以竹篱等，然后喷射混凝土。

5.2.3 在深工作坑工程中，止水帷幕、钢板桩、钢支撑、喷锚防护施工见后附 5.2.3-1~5.2.3-4 条文说明。

5.3 工作坑开挖

5.3.1 工作坑开挖前应测定工作坑中心线、轮廓线、方向和高程。有地面水淹没的工作坑，应先修筑围堰、改河、改沟、筑坝。

5.3.2 当地下水位在工作坑底以上时，需先将地下水位降至工作坑底以下 0.5m，水位稳定后原地下水位以上部分可放坡开挖；原地下水位以下部分，当土质易坍塌或工作坑底以上水位较深时，应加固坑壁开挖。

5.3.3 工作坑四周应设立防护栏杆，防护栏杆高度不应低于 1.2m，架设警示灯、警示牌及夜间照明并设专人值守。

5.3.4 工作坑开挖后检测基底承载力，不满足设计要求时应及时反馈给监理、设计单位。

5.3.5 开挖时，从工作坑外边线分层全断面开挖，人工配合刷坡，严禁局部挖深后向四周掏土的施工方法。

5.3.6 基坑开挖应按照先撑后挖、限时支撑、分层开挖、严禁超挖的方法确定开挖顺序，应减小基坑无支撑暴露开挖时间和空间。混凝土支撑应在达到设计要求的强度后进行下层土方开挖；钢支撑应在质量验收并施加预应力后进行下层土方开挖。

5.3.7 分层支撑和开挖的基坑上部可采用大型施工机械开挖，下部宜采用小型施工机械和人工挖土，在内支撑以下挖土时，每层开挖深度不得大于 2m，施工机械不得损坏和挤压工程桩及降水井。

5.3.8 多道内支撑基坑开挖遵循“分层支撑、分层开挖、限时支撑、先撑后挖”的原则，且分层厚度须满足设计工况要求，支撑与挖土相配合，严禁超挖，在软土层及变形要求较为严格时，应采用“分层、分区、分块、分段、抽条开挖，留土护壁，快挖快撑，先形成中间支撑，限时对称平衡形成端头支撑，减少无支撑暴露时间”等方式开挖。

5.3.9 为避免超挖，在机械开挖至设计标高以上 0.2m-0.3m 时，采用人工挖土挖至设计标高，在设计的地锚梁位置，按设计尺寸人工开挖沟槽，开挖时不得扰动地基土，保证基底承载力及对地锚梁的横向阻力。

5.3.10 工作坑开挖后，立即报建设、设计、勘察、监理、共同进行基底核对检查，合格后立即进行滑板施工。

5.4 工作坑监测

5.4.1 监测内容：工作坑支护体系沉降监测、位移监测、建筑物沉降监测、地下水位监测、邻近管线监测、线路监测等。

5.4.2 监测期限：开挖前至竣工结束。

5.4.3 监测设备：水平位移一般采用全站仪；沉降监测一般使用水准仪加测微器和水准尺。

5.4.4 监测内容、监测点布置及监测频次按照《建筑深基坑工程施工安全技术规范》(JGJ 311) 及设计文件要求执行，具体观测指标见附 5.4.4 条文说明。

6 箱涵预制

6.0 一般规定

6.0.1 箱涵混凝土浇筑可分两阶段施工。先浇筑底板（包括下梗肋），当底板混凝土强度达到设计强度的 50%后，再施工中、边墙及顶板混凝土。当浇筑混凝土量较大，两阶段施工有困难时，也可分三个阶段施工，但中、边墙的施工缝不应设在同一水平面上。施工接缝必须按有关规定严格处理。

6.0.2 支立模板均宜采用定制钢模板，顶板排架宜采用盘扣式支架。支架应通过预压的方式，消除不均匀沉降和非弹性变形等，并获取弹性参数，检验支架的安全性。

6.0.3 模板应符合下列规定：

- 1 保证混凝土结构和构件各部分设计形状、尺寸和相互间位置正确。
- 2 具有足够的强度、刚度和稳定性，能承受新浇筑混凝土的重力、侧压力及施工中可

能产生的各项荷载。

3 接缝不漏浆，制作简单，安装方便，便于拆卸和多次使用。

4 能与混凝土结构和构件的特征、施工条件和浇筑方法相适应。

6.1 模板

6.1.1 模板与混凝土相接触的表面应涂刷隔离剂。钢模板用隔离剂应同时具有防锈作用。模板使用后应按规定修整保存。

6.1.2 为保证钢筋混凝土保护层质量，必要时可使用带透水衬里的模板。混凝土养护期间，当混凝土与环境之间的温差大于 20℃时，宜采用保温模板。

6.1.3 设计模板时，应计算下列荷载：

1 竖向荷载

- (1) 模板自身的重力；
- (2) 新浇筑混凝土的重力；
- (3) 钢筋（包括预埋件）的重力；
- (4) 施工人员和机具设备的重力；
- (5) 振捣混凝土时产生的荷载；
- (6) 其他荷载。

2 水平荷载

- (1) 新浇筑混凝土对模板的侧压力；
- (2) 倾倒混凝土时因振动产生的荷载。

6.1.4 设计模板计算时，应根据实际情况确定模板最不利荷载的组合，计算采用的荷载值应符合规定。承重结构的强度设计值、弹性模量值及设计计算方法应符合现行国家标准《钢结构设计标准规范》GB50017 的规定。

6.1.5 检算模板的倾覆稳定性时，其侧面所受风荷载的受风面积可按实际情况计算，风速可按施工期内当地预计的最大风速计算。倾覆稳定系数不得小于 1.5。

6.1.6 钢模板制作和安装应符合相关的规定。模板与混凝土的接触面应平整光滑。模板上的重要拉杆宜采用螺纹钢杆并配以垫圈。伸出混凝土外露面的拉杆宜采用端部可拆卸的钢丝杆。

6.1.7 支架结构的立面或平面均应安装牢固，并能抵抗振动或偶然撞击作用。应在两个互相垂直的方向对支架的立柱加以固定。

6.1.8 模板施工作业应符合下列规定：

1 模板选用及脱模处理：模板板面采用钢模或竹胶模板，使用前应设隔离层便于脱模，保证拼缝封闭。为了预防混凝土表面出现气泡和色差，使用的模板表面要清洗干净；选用合适的脱模剂，涂抹要均匀。

2 支架选用及搭设：支架宜采用盘扣式刚支架，根据箱涵结构尺寸，制定模板支撑体系专项方案，并经过检算合格。支架横平竖直，连接牢固，并按规定设剪刀撑、水平撑及斜撑撑牢，保证模板位置正确。外模宜采用型钢或方木上下分层固定，用钢筋拉杆对拉。为保证穿墙螺栓抽拆方便，并预防墙体渗水，穿墙螺栓宜套硬塑料管。

3 模板安设

(1) 箱涵顶板底模应设预拱度；为便利标高调节，在每根立杆上部或底部设升降螺杆装置。

(2) 模板安装完成后，其尺寸、平面位置和顶部高程等应符合设计要求。固定在模板上的预埋件和预留孔洞均不得遗漏，安装应牢固，位置应准确。

4 拆模及养护

在混凝土浇筑完毕后，时刻观测外界环境及混凝土内外温度的变化，控制混凝土降温梯度，避免出现裂纹。

(1) 拆模前养护期间在模板外侧搭设遮阳设施，防止阳光直射模板。对外露混凝土进行覆盖保湿；混凝土终凝后的持续保湿养护时间不少于 14d，并做好养护过程的记录。

(2) 养护期间利用测温线对混凝土进行温度监控，定时测定混凝土芯部温度、表层温度以及环境气温、相对湿度、风速等参数，并根据混凝土温度和环境参数的变化情况及时调整养护制度，严格控制混凝土的内外温差。

(3) 箱涵墙身及顶板的拆模时间根据混凝土的强度确定。一般情况下，大风或气温急剧变化时不得进行拆模。拆模施工时，采取逐段拆模、边拆边盖的拆模工艺。混凝土去除表面覆盖物或拆模后，及时进行养护，养护期间采取遮阳和挡风措施。

6.2 钢筋

6.2.1 钢筋施工准备工作

1 机械设备：钢筋冷拉机、调直机、切断机、弯曲成型机、弯箍机、闪光焊机、电弧焊机以及相应的吊装设备。

2 材料：钢筋必须有出厂合格证。进场后须按规定进行试验检测，合格后方可使用。

6.2.2 钢筋施工作业

1 钢筋表面应洁净，粘着的油污、泥土、浮锈等使用前必须清干净，经调直的钢筋不得有局部弯曲、残弯、小波浪形。

2 严格按配料单下料焊接，弯制成型，分类挂牌，堆放整齐。每种类型钢筋第一个成品应对照设计图纸准确检查，符合要求后再批量加工。

3 在滑板顶面放出箱涵底板及墙身位置线，在控制位置应设定位钢筋；在定位钢筋上应按设计尺寸依次标出下层钢筋位置，由端部按顺序绑扎。下层钢筋绑扎后，可安装上层定位架主钢筋，在其下部设垫块，其纵横间距宜大于 1m，并用同样方法绑扎上部钢筋。最后绑扎上下层拉结钢筋，位置应正确，绑扎应牢固，浇筑混凝土时应无变形。为保证钢筋安装位置精确，浇筑混凝土中不易变形，可设置一定数量的钢筋撑脚作为支撑。

4 墙体竖筋可采用定位支架由端部依次安装，随后绑扎水平及中间拉结钢筋。用斜撑或拉线将竖筋稳固后方可绑扎上面水平钢筋；最后绑扎加腋钢筋。

5 顶模板安装后，顶板钢筋采用第 6.2.2.3 的方法绑扎。

6 箱涵主筋接头宜采用闪光对焊或机械连接。

7 钢筋骨架焊接时按设计图纸放好大样，放样时考虑焊接变形；钢筋拼装前对有焊接接头的钢筋进行检查，检查每根接头的焊缝有无开焊、变形，如有开焊应及时补焊。骨架焊接时，不同直径钢筋的中心线应在同一平面上，施焊顺序由中到边对称地向两端进行，先焊骨架下部，后焊骨架上部。相邻焊缝采用分区对称跳焊，不得顺方向一次焊成，焊渣随焊随敲。在底板前端按照设计图纸设立相应的的船头坡，长度为 1~2m，船头坡的钢筋在制作时做成缩尺，绑扎时相应按比例上移，保证钢筋不外露。

6.3 支架体系

6.3.1 支架材料要求

1 搭设支架要求其质量符合现行国家标准规定。

2 钢管表面平直光滑，无裂缝、结疤、分层、错位、硬弯、毛刺、压痕和深的划痕。

3 钢管上严禁打孔。

4 扣件材质必须符合设计及规范要求：

(1) 新扣件具有生产许可证、法定检测单位的测试报告和产品质量合格证。

(2) 旧扣件使用前，先进行质量检查，有裂缝、变形的严禁使用，出现滑丝的螺栓进行更换处理。

6.3.2 盘扣式支架搭设要求

- 1 搭设支架前应制定搭设方案，进行支架设计及力学检算，应满足结构要求。
- 2 内支撑步距要求：当搭设高度不超过 8m 时步距不宜超过 1.5m，当搭设高度超过 8m 时步距不得超过 1.5m。
- 3 独立高支模高度要求：对于长条状的独立高支模架，架体总高度与架体的宽度之比 H/B 不宜大于 3。
- 4 可调托座要求：可调托座的丝杆的外露长度严禁超过 400mm，托座插入立杆或双槽钢托梁长度不得小于 150mm。
- 5 可调底座要求：可调底座调节丝杆外露长度不大于 300mm，扫地杆最底层水平杆距离地面高度不应大于 550mm。
- 6 双排外脚手架的连续搭设高度要求：不宜大于 24m。
- 7 双排外脚手架的架体步距、跨距要求：步距宜取 2m，立杆纵距宜取 1.5m 或 1.8m，且不宜大于 2.1m，立杆横距直取 0.9m 或 1.2m。
- 8 斜拉杆布置要求：在规范要求的允许搭设高度的 24m 内，沿架体外侧纵向每 5 跨每层应设置一根竖向斜拉杆或每 5 跨间应设置扣件钢管剪刀撑。
- 9 对于双排脚手架的每步水平杆层，当无挂钩钢脚手板加强水平层刚度时：应每 5 跨设置水平斜杆。
- 10 关于连墙件要求：连墙件和架体的连接点，至盘扣节点距离不应大于 300mm。
- 11 脚手架计算见附 6.3.2 条文说明。

6.3.3 拆卸要求

- 1 当混凝土强度达到表 6.4.2 规定强度后方可拆卸支架。
- 2 拆除支架应设置警戒，张挂醒目的警戒标志，禁止非操作人员通行和地面施工人员通行，并有专人负责警戒。
- 3 长立杆、斜杆的拆除应由二人配合进行，不宜单独作业，下班时应检查是否牢固，必要时应加设临时固定支撑。
- 4 卸落支架应按拟定的卸落程序进行，分几个循环卸完，卸落量开始宜小，以后逐渐增大。纵向应对称均衡卸落，横向应同时一起卸落。
- 5 支架应按自上而下先支后拆、后支先拆的顺序，一步一清，不得采用踏步式拆除，不得上下同时作业。

6.4 混凝土浇筑

6.4.1 准备工作

1 箱涵混凝土施工前，施工单位应完成原材料的选定、复检工作，并应充分考虑试验周期和可能出现的原材料变化，宜早开展混凝土配合比的选定工作。

2 材料要求

(1) 水泥采用 42.5 级普通硅酸盐水泥，掺适量粉煤灰和矿粉以减少水化热。

(2) 石子粒径 5~40mm，含泥量小于 1%。

(3) 砂子应为中粗砂，细度模数大于 2.5，含泥量小于 3%。

(4) 掺入适量减水剂和缓凝剂，保证混凝土初凝时间在 4~6h 之间，在防止水泥迅速水化放热的基础上，避免水泥长期不凝而带来的塑性收缩增加。

3 作业条件

(1) 复核模板、支顶、预埋件、管线、钢筋等符合施工方案和设计图纸，杂物清除干净，并办理隐蔽工程检查验收手续。

(2) 根据施工方案对班组进行全面施工技术安全交底，包括作业内容、特点、数量、工期、施工方法、安全措施、质量要求和施工缝设置等。

4 混凝土热工计算见附 6.4.1 条文说明。

6.4.2 施工作业

1 箱身预制施工时，施工缝的位置宜留在侧墙下加腋的上部或上加腋的下部 300mm，对施工缝接茬应清凿去除表层浮浆，用水冲洗干净，然后刷一层素水泥浆，随即灌以原混凝土强度的砂浆 3~5mm 后，再浇筑新的混凝土。

2 箱身混凝土施工时，其底板或顶板混凝土应一次浇筑。底板混凝土施工时从两边墙处开始向中间推进；倾斜分层式浇注：倾斜分层的垂直厚度 0.25~0.35m，斜长 3.5~4.0m，浇注高度在底板八字上平，并在墙体施工缝做防水处理。墙体浇筑时应保证对称浇筑，墙体浇筑按水平分层进行，每层厚度 0.4~0.5m。顶板浇筑时由每道墙体向跨中推进浇筑，此时倾斜分层厚度和斜长同底板相同。混凝土的捣固必须严格按照规范进行，做到不漏振、不过振，振捣按梅花型布置，棒距不大于 1.5 倍的作业半径，并插入下层 50~100cm。

3 高温或寒冷季节浇筑混凝土应采取内部降温或外部保暖措施，使混凝土内外温度差不超过 20℃，预防温度裂缝的产生。

4 混凝土浇筑完毕后，应根据气温环境条件，采取合理的养护方法，如箱顶储水、内外侧墙采取遮盖、自动喷淋等缓慢升温或降温的方法。

5 墙身或顶底板厚度为 1m 及以上属大体积混凝土，应按大体积混凝土工艺操作。

6 箱涵主体混凝土拆模时的强度应符合设计要求。当设计未提出要求时，应符合下列规定：

(1) 侧模应在混凝土强度达到 2.5MPa 以上，且其表面及棱角不因拆模而受损时，方可拆除。

(2) 顶板底模及支架应在混凝土强度达到表 6.4.2 规定的强度后，方可拆除。

表 6.4.2 拆除顶板底模时所需混凝土的强度

结构部位	结构跨度(m)	混凝土设计强度的百分比(%)
拱部	≤2	50
	2-8	75
	≥8	100
悬臂板	≤2	75
	>2	100

6.4.3 箱涵施工质量标准应符合表 6.4.3 的规定

表 6.4.3 箱涵施工质量标准

项目	规定值或允许偏差
轴线偏位 (mm)	±20
流水面高程 (mm)	±20
涵长 (mm)	+100, -50
高度 (mm)	+5, -10
宽度 (mm)	±30
顶板厚 (mm)	+10, 0
侧墙和底板厚度 (mm)	不小于设计值
平整度 (mm)	5

6.5 箱涵防水

6.5.1 防水层应具备防水、牢固、耐久和必要的弹韧性等性能。防水层及沉降缝所用原材料应按现行国家标准作性能检验，符合有关标准规定方可使用。

6.5.2 基面、防水层和保护层表面应平顺、不得有明显的凸凹，各层间必须黏结牢固。

6.5.3 防水层严禁在雨、雪天和 5 级以上大风天施工，防水层施工环境气温条件见表。

表 6.5.3 防水层施工环境气温条件表

序号	施工项目	施工环境气候
1	黏结保温层	热沥青不低于-10℃，水泥砂浆不低于 5℃
2	沥青防水卷材	不低于 5℃
3	高聚物改性沥青防水卷材	冷粘法不低于 5℃，热熔法不低于-10℃
4	合成高分子防水卷材	冷粘法不低于 5℃，热风焊接法不低于-10℃
5	高聚物改性沥青防水涂料	溶剂型不低于-5℃，水溶型不低于 5℃
6	合成高分子防水涂料	溶剂型不低于-5℃，水溶型不低于 5℃
7	刚性防水层	不低于 5℃

6.5.4 防水涂料在运输和保存时，严禁遇水和接近火源。在负温度环境施工时，严禁明火加热防水涂料。

6.5.5 箱涵顶面防水层采用卷材类防水层，铺设位置及范围应符合设计要求。卷材类防水层由防水卷材与防水涂料组成。

6.5.6 混凝土箱涵基层检查及处理：

1 防水层施工前应对箱涵基层进行验收，基层表面应做到平整、无尖锐异物、不起砂、不起皮及无凹凸不平。平整度用 1m 长靠尺测量空隙不大于 3mm，每米不应超过 1 处；不符合上述要求处，可凿除或采用水泥砂浆找平处理。

2 箱涵基层应无浮渣、浮灰、油污等，防撞墙根部应无蜂窝、麻面。防水层铺设前，应采用高压风（水）彻底清除基层表面灰尘。

3 对蜂窝、麻面应作填补，并应在填补前清除蜂窝、麻面中的松散层、浮渣、浮灰、油污等，填补前应使之湿润；填补蜂窝、麻面的水泥浆中应添加适量的水溶性胶黏剂，以增强与基底的连接。

4 采用聚氨酯防水涂料黏结剂涂刷时基层应干燥。基层干燥鉴别，可采用边长 1m 方形塑料布覆盖在基层上，采用阳光照射或用吹风机加热 1h 后观察，无水汽出现时即可视为干燥。

5 采用水泥基胶黏剂涂刷时，应对基层进行湿润检查，如太干燥应对基层进行表面湿润；雨期施工时，雨停后基层表面无积水即可施工。

6.5.7 防水卷材铺贴施工应符合下列规定：

1 防水卷材使用前，除应对产品包装上的制造厂名、产品名称、产品标准号、产品规格、制造日期、生产批号等进行检查外，还应按批次进行抽样检验，质量符合设计要求和

有关标准规定方可使用。

2 防水卷材铺贴应按水流方向从低到高、从下往上进行施工。

3 铺贴防水卷材时，黏结剂应涂刮均匀，厚度应控制在 1.2~1.5mm，防水卷材两层之间的黏结剂厚度不得小于 1mm。

4 铺贴防水卷材时，应边涂黏结剂边铺贴卷材，同时用橡皮刮板在卷材上部来回刮实，严禁有起鼓、起泡等现象，卷材铺贴应做到平直，卷材的搭接缝应采用聚氨酯防水涂料或水泥基胶黏剂进行密封。

5 对铺贴好的防水卷材应进行保护，除正常养护外，在防水层胶黏材料固化前，不得在其上行走和进行下道工序施工作业。

6 对铺贴的防水卷材应及时进行质量跟踪检查，可用肉眼观察有无空鼓、起泡、超边等现象，如出现空鼓、起泡等现象应及时进行补救处理，保证防水层黏结牢固。

7 铺贴防水卷材时，气温不得高于 35℃和低于 5℃。若不满足应采取措施使施工场所气温保持在上述允许范围，否则不得施工。

6.5.8 保护层采用细石纤维混凝土，可采用聚丙烯纤维网或聚丙烯腈纤维拌和混凝土。保护层纤维混凝土指标及所用材料的规格、质量、性能等应符合设计要求。

6.5.9 防水保护层纤维混凝土施工应符合下列规定：

1 抹面应在混凝土接近初凝时进行，抹面工具表面应光滑以免带出纤维。

2 保护层制作完成后，应采取覆盖措施保持其表面潮湿。

6.5.10 纤维混凝土保护层厚度和顶面的流水坡应符合设计要求，表面应平整，排水应畅通。

6.6 补齐

6.6.1 箱涵主体钢筋绑扎时，在刃角侧墙上设置预留钢筋，箱涵顶进就位后立即先进行箱涵的底板、两侧刃角补齐的施工，确保铁路行车的安全。补齐前进行凿毛处理，钢筋均采用焊接连接，且采用同箱涵主筋相同型号的钢筋进行加工。

6.6.2 补齐受力复杂集中，应有足够的强度和刚度，补齐混凝土强度等级按设计要求与主体同强度等级，混凝土浇筑应振捣密实。

7 顶进设施

7.0 一般规定

- 7.0.1 滑板应满足预制箱涵主体结构、后背梁、顶进设备、装运、起吊、空顶试验等所需要的尺寸、强度、承载力、平整度、光滑度、排水要求。
- 7.0.2 顶进后背应垂直于箱涵顶力轴线设置，顶进后背应有足够的强度、刚度和稳定性，后背设计根据箱涵最大顶力通过力学计算确定，并要预留纠偏或特殊情况下强行顶进的储备系数。
- 7.0.3 影响顶进的电缆全部明出及采取有效保护措施，并进行有效防护。
- 7.0.4 由第三方检测单位对路基防护桩、抗移桩、支撑桩进行桩长、桩径、完整性等进行检测，并符合设计要求。
- 7.0.5 箱涵主体和防水保护层抗压试件试验达到100%，箱涵防水施工完成。
- 7.0.6 路基注浆加固完成且加固后复合地基承载力达到设计要求。铁路路基水位已降至底板底0.5m以下。

7.1 工作坑滑板

- 7.1.1 滑板的中心线应与箱涵的中心线一致。具有足够的刚度、强度和稳定性，应在滑板上层配置钢筋网，并应防止顶进时滑板开裂。
- 7.1.2 滑板与原地基接触部分应设置纵横向锚梁，锚梁间距、深度、宽度应按设计施工，软弱地质应考虑加强纵横锚梁的措施，增强滑板的整体性。
- 7.1.3 滑板顶面高程应考虑软弱地质条件下的预留沉降量，一般为30~80mm，并满足线路加固的要求。
- 7.1.4 箱涵顶进施工因地形限制需要横移时，应提高滑板的整体强度。施工时严格控制滑板的平整度。
- 7.1.5 工作坑滑板与预制箱涵底板间应铺设润滑层和防护隔离层。为使工作坑滑板与后背一起工作，应将工作坑滑板的纵向钢筋伸入后背梁内，并加设加强筋。
- 7.1.6 斜交箱涵角度较小时，滑板前端锐角部分宜增设加强钢筋。
- 7.1.7 滑板混凝土等级、滑板厚度应严格按设计施工。为预防箱涵在顶进时“扎头”，宜在滑板顶面设置2‰~3‰的前高后低的坡度，但前后端高差不宜大于10cm。宜在底板前端设置1~2m长、高度为5cm~10cm的船头坡。中继间法施工，滑板宜设置为平坡。对顶法施工两端滑板的设置，应根据顶程和地质情况分别考虑预留坡度。
- 7.1.8 滑板上应设置润滑隔离层，润滑隔离层由润滑剂和隔离层组成。

- 1 常用的润滑剂材料为石蜡、滑石粉、机油和黄油等；①石蜡掺机油（机油用量为

25%): 将石蜡加热至 150℃, 再掺入机油搅拌均匀; ②滑石粉浆 (滑石粉: 机油=1.5: 1~3: 1)。

2 隔离层常用材料为塑料薄膜、油毛毡等; 在顶进过程中为避免出现隔离层被拉开或堆拥现象, 应顺顶进方向铺设, 铺设时接缝应重叠搭接。

7.2 后背

7.2.1 顶进箱涵的后背包括后背梁、后背墙和后背填土, 其应有足够的刚度、强度和稳定性, 顶进后背应垂直于箱涵顶力轴线设置。后背设计应根据箱涵最大顶力通过力学计算确定, 并应预留纠偏或特殊情况下强行顶进的顶力。

7.2.2 后背墙可采用桩板式或重力式。桩板式后背桩后土的水平抗力应能承受全部千斤顶的顶力; 重力式后背墙体自重与土的摩擦阻力及墙后填土的水平抗力应能共同承担全部千斤顶的顶力。

7.2.3 各类顶进后背填土, 应分层填筑, 夯填密实, 严格控制填料质量。

7.2.4 后背具体布置见附 7.2.4 条文说明。

7.3 顶进设备

7.3.1 根据计算的最大顶力和液压泵站提供的油压确定顶进设备。千斤顶的有效顶力可按额定顶力的 60%~70% 计算, 并应有备用千斤顶。

7.3.2 千斤顶数量及布置形式应根据顶力、箱涵宽度、自转扭矩经过计算确定。

7.3.3 同一座箱涵宜使用同一类型的千斤顶, 若不同类型时, 则同一类型的宜对称布置。

7.3.4 在软弱地质条件下, 采用中继间法顶进时, 第一节箱涵顶进设备的配备要充分考虑前面塌方时强行快速顶进的储备顶力。

7.3.5 液压传动系统的动力机构、高压油泵、油箱及其辅助装置的布置应与千斤顶配套。

7.3.6 液压系统安装后必须试运转, 检验油路、千斤顶及控制台达到要求后方可使用。

7.3.7 安装顶柱 (铁) 时, 应与顶力轴线一致, 并与横梁垂直, 应做到平、顺、直。根据顶柱 (铁) 长度及最大顶力应在 4~8m 范围内设一道横梁。

7.3.8 压梁环设置在顶柱 (铁) 之间及两侧, 压梁环的预设规格根据施工现场顶柱 (铁) 实际安装情况布设。施工前确保测量放线位置准确、合理, 顶进过程中确保顶柱 (铁) 轴线顺直, 不发生崩铁事故。

7.3.9 顶柱 (铁)、横梁在存放、搬运、装卸过程中, 要注意保护, 防止变形; 在使用前,

进行检查，不合格的不能使用。在使用过程中，要确保位置准确，防止不均匀受力产生变形。顶柱（铁）端部变形或顶柱（铁）、横梁轴线发生弯曲变形，均应及时修整，保证传力设备的顶力传递均匀、整体不失稳。

7.3.10 顶进设备布置见附 7.3.10 条文说明。

8 箱涵顶进施工

8.0 一般规定

8.0.1 根据箱涵的长度和预制场地条件，合理选择顶进方法。一般情况下应优先选用一次顶入法。

8.0.2 设备安装调试，千斤顶、油泵、油箱、管路以及配套辅助设备进行检查调试，使其运转正常。此外，对传力设备等也进行仔细检查，以满足顶进的需要。

1 各有关部位及观测点处应有专人负责随时注意变化情况并形成记录。

2 开泵时当油压升高 5~10MPa 时，必须停泵观察箱涵周边施工环境及测量数据，发现异常及时处理。

3 当千斤顶活塞开始伸出、顶柱（铁）压紧后应即时停顶，检查各部位，无异常现象方可再开泵，直至涵身开始启动。

8.0.3 顶进每一顶程，应测量方向和高程，发现偏差及时纠正，根据箱涵偏差情况及时调整下一顶程挖土方法、千斤顶使用数量、油泵压力等。

8.0.4 箱涵顶进过程中，要随时对线路的线形进行调整，应配备足够的千斤顶、倒链、起道机、道砟等应急设备和物资。

8.0.5 为避免轨道体系顶进过程中发生横移，宜采取以下措施：

1 在箱涵预制的线路另一侧，设置抗横移梁，加固横梁支顶于梁上。

2 在箱涵顶面于横梁间设置滚动或滑动移动支点（顶桥小滑车）。

8.0.6 顶进作业挖土应符合以下规定：

1 每次挖土进尺及开挖面的坡度，应根据土质和线路加固情况以及千斤顶的顶程确定，且不超过线路加固体系的悬空量允许值。开挖坡面应平顺整齐，不得有反坡，挖土坡度大致与刃角相近。

2 两侧宜欠挖 5cm，钢刃脚切土顶进。当为斜交时，前端锐角一侧清底困难，应优先开挖。

3 列车通过时严禁挖土，人员应撤离至安全区域。

4 挖土工作应与观测人员密切配合，随时根据箱涵顶进方向和水平偏差，采取超、欠挖纠偏措施。

8.0.7 箱涵顶进作业时应进行下列监测与控制：

1 箱涵从启动顶进到吃土前的空顶阶段，主要利用导向轨（放置在导向墩和箱涵之间的钢轨）控制方向。

2 顶进过程中，应监测箱涵的水平偏差和方向偏位以及后背的变形，如有偏差应采取措施及时纠正。

3 应监测铁路线路、接触网杆等铁路设备的水平、竖向位移等，按照设计图纸中的监测要求、监测频率、警戒值控制。当监测数据超出预警值，通知施工负责人及相关人员高度警戒；当超过报警值，立即通知铁路设备相关单位，对线路进行整修，确保铁路行车安全。

8.1 一次顶入法

8.1.1 一次顶入法也称整体顶入法，它是指箱涵整体预制，纵向不分节、横向不分体，从启动到就位一次完成。

8.1.2 一次顶入法于路基的一侧设置工作坑，在工作坑的滑板上预制整体箱涵，在顶进方向修筑后背，利用高压油泵带动千斤顶，连续将箱涵顶进就位。

8.1.3 箱涵整体顶进，要求有足够的顶进设备，不论箱涵正交或斜交，在各种土质路基、覆盖土深度，均能用此法一次顶入，但所需的顶进设备及施工机具较多，而且还需要一个强大的后背。

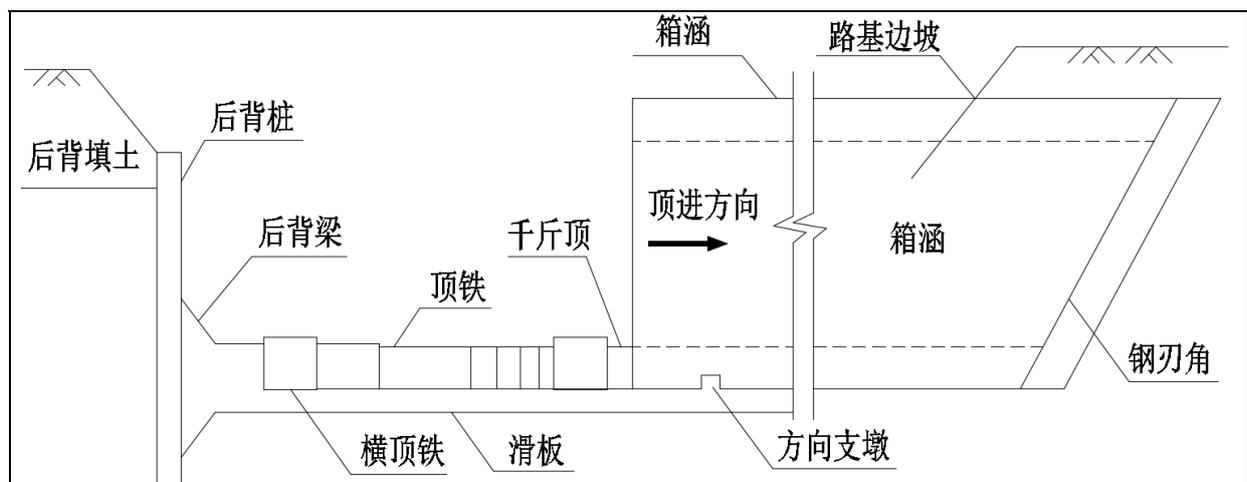


图 8.1.3 一次顶入法示意图

8.1.4 顶进

1 顶进前应制定顶柱（铁）布置排列组合方案，将不同规格尺寸的顶柱（铁）进行排列组合。

2 箱涵在工作坑滑板上空顶时，要特别注意箱涵的轴线方向。箱涵前端吃土后，应加快挖土出土速度，昼夜连续作业，保持箱涵不断顶进。

3 每班交接前，应对千斤顶、油泵液压系统、顶柱（铁）、后背和平台等设备认真检查，保持设备状态良好。顶进过程应做好记录，随班交接。

4 顶进箱涵施工应在列车运行间隙进行，严禁列车通过线路时顶进。应在箱涵内和线路防护人员、驻站员、线上作业人员之间设对讲机、电铃和信号灯等，并且确保信息传递一致、通畅。

5 顶进时顶柱（铁）、横梁等和后背处严禁站人，防止顶柱（铁）弓起崩出意外伤人。

6 顶进时发现线路横向变形，应立即停止顶进，及时纠正。

7 安放顶柱（铁）必须与箱涵轴线保持一致，与横架垂直，每行顶柱（铁）要与千斤顶平行设置，各行长度应力求一致。

8 按顶进长度随时更换或填补不同规格的顶柱（铁）。顶进时应注意观察顶柱（铁）受力情况，防止崩出伤人。为防止顶柱（铁）接长后可能发生的不稳定，宜在顶柱（铁）上填土碾压。

8.1.5 出土

1 一般采用挖掘机挖土、刷坡，人工清底，装载机运土装车，自卸车外运；当箱涵孔径、净高不满足机械挖装条件时，采用人工挖土，小平车出土。一般情况下箱涵两侧不宜超挖，宜两侧钢刃角切土，保持两侧路基稳定。

2 采用纵挑横抬法时每次开挖不宜超过 1.0m，土质不良时宜少挖勤顶，每次开挖不超过 0.5m。

3 箱涵与铁路线斜交时，顶进时易出现中线偏移，箱涵进入路基土体后，应严格控制方向。

4 在进入路基前，对箱涵的中线偏差要求控制在前端偏锐角侧 5cm 左右，后端尽量保持正位。采取导向墩式，事前控制和入土前进行全过程测量，并及时调整，采用动态控制。顶进中如遇侧塌，立即组织人员将准备好的草袋及片石抛填塌方部分，同时加快顶进速度，避免塌方趋势继续扩大。

5 洞内挖土由专人统一指挥，每次开挖前由开挖负责人全面检查确认，并经线上负责人同意后方可开始，开挖坡度及长度由技术负责人据土质情况而定。

6 挖土时严禁随意超、欠挖，挖土自上而下进行，严禁从下部掏土，严禁逆坡挖土；保持坡面平顺，随挖随顶。

7 洞内挖土做到“四不挖”：列车通过时不挖；开镐顶进时不挖；设备出故障时不挖；未下达开挖命令时不挖。

8.2 对顶法

8.2.1 在就位箱涵的铁路两侧各修筑一个工作坑，在工作坑的滑板上预制箱涵，利用两侧修筑的后背，将两侧箱涵对顶就位。

8.2.2 对顶法宜先顶进一侧箱涵，再顶进另一侧箱涵，如两侧箱涵就位时间差较长，需对先就位箱涵的刃角处进行加固，做好路基防塌方措施。

8.2.3 对顶法接缝处理应严密不漏水，接口的处理可预留缺口，防止两侧箱身顶进后的错茬现象。

8.3 中继间法

8.3.1 将箱涵轴向分节预制，在工作坑后端修建小型后背，各节箱涵间设中继间，各节箱涵之间和末节箱涵与后背之间均安设千斤顶，然后由前至后依次逐节驱动千斤顶、逐节推动箱涵。后背处的千斤顶回收后安放顶柱（铁），再开始第二次顶进，依次往复循环顶进，直至箱涵顶进就位。由于逐节顶进箱涵，故后背的最大反力仅为最后一节箱涵的顶力，使后背工程大为简化。

8.3.2 为使各节箱涵间不出现错缝，各中继间均安设抗剪销。为防止土挤进箱涵，两节间设钢板防护套，钢板面与箱涵混凝土面齐平。为防止接缝处漏水，中继间应按设计规定处理。

8.3.3 中继间顶进的优点是后背小，箱涵预制简单，还可克服因箱涵过长而纵向配筋增多的问题。当受地形限制，不能沿顶进轴线分节预制时，还可沿线路横向排列分节预制，例如箱涵分3节预制，将中间沿顶进轴线排列的第1节先顶入路基，然后将第2节横移至顶进的轴线位置上，安装第1个中继间，待第2节顶入路基后再横移第3节就位，安装第2个中继间，再继续顶入路基，直至全部箱涵就位。

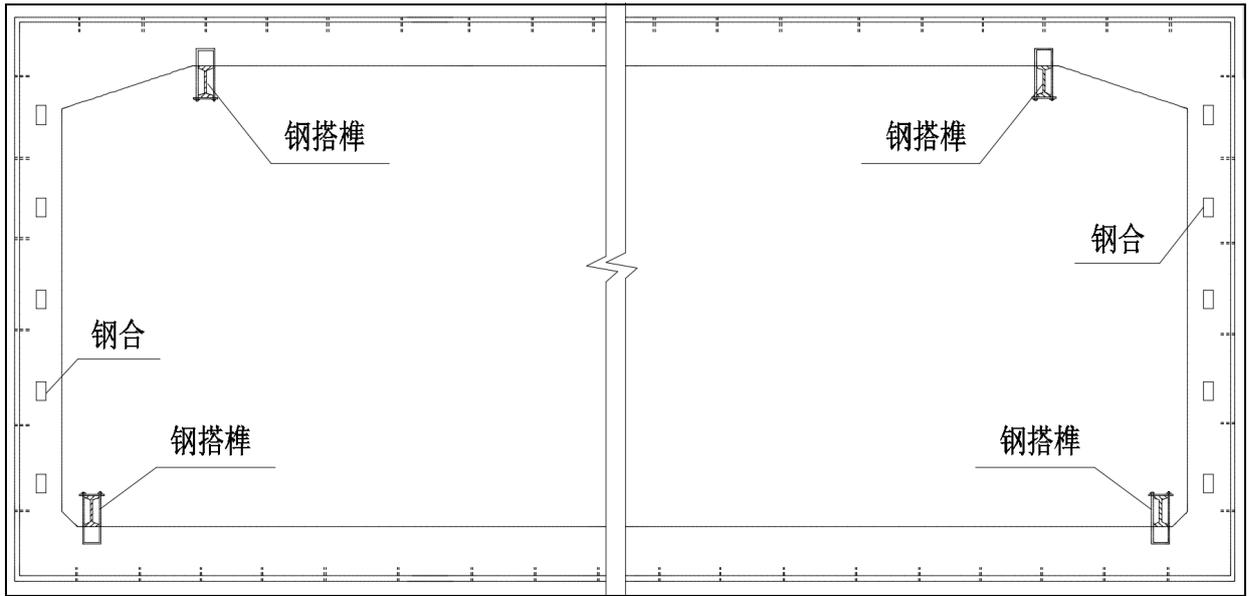


图 8.3.1 (a) 中继间断面图

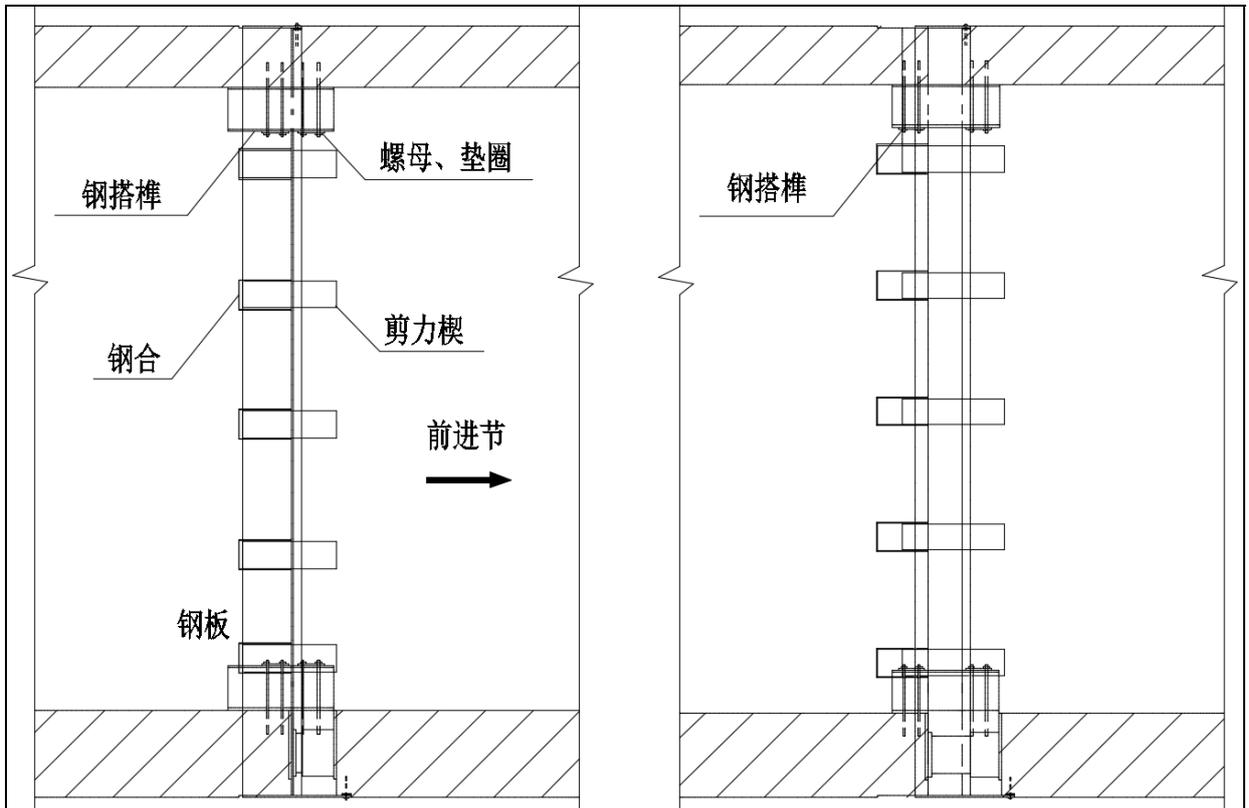


图 8.3.1 (b) 千斤顶未伸长及伸长后中继间立面图

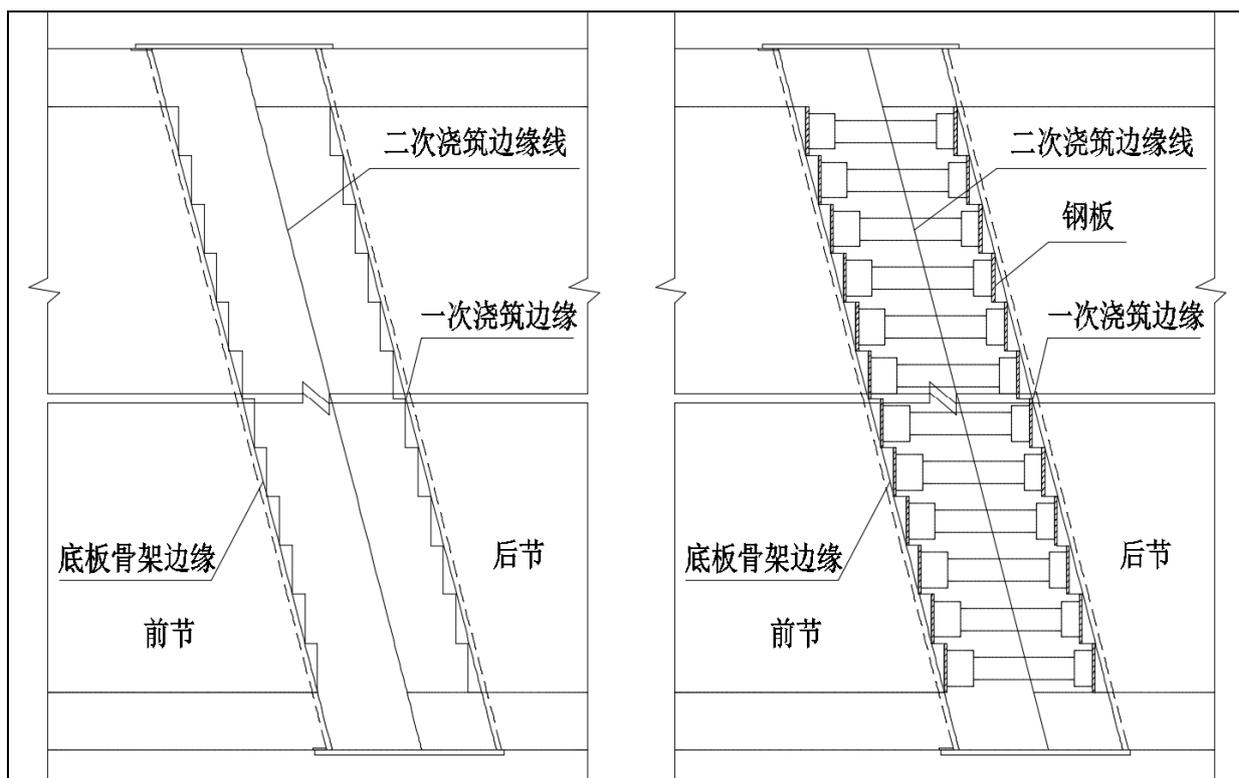


图 8.3.1 (c) 中继间底板接缝平面图

8.4 拆旧顶新法

8.4.1 既有箱涵拆除应符合下列规定

1 拆除箱涵必须在线路加固完毕后进行，采用 D 型梁加固线路时，可成段拆除；采用横纵梁体系加固线路时，每段拆除后悬空量必须小于加固体系最大允许值。

2 拆除时应自上而下拆除，防止既有箱涵局部坍塌，影响线路安全稳定。

8.4.2 拆除既有箱涵

拆除既有箱涵要根据工程实际情况，可选择静力破碎、液压钳破碎、切割拆除的方法。

1 静力破碎：静力破碎是在要拆除的构件上打孔，装入胀裂剂，待胀裂剂发挥作用后将混凝土胀开，再使用风镐或人工剔凿的方法剥离胀裂的混凝土。拆除前必须用水钻、墙锯等切割机具将所需拆除的构件与需要保留的构件分隔开。

2 液压钳破碎：采用液压粉碎钳将混凝土构件破碎拆除。

3 切割拆除：

切割拆除前应对铁路既有线进行加固。加固及切割方案应经铁路公司审查通过；切割拆除可采用绳锯或圆盘锯，根据现场实际情况选择，切割方法一般为环形切割。

(1) 根据既有箱涵的结构尺寸选择不同的切割工具（绳锯或圆盘锯），墙体切割时每

切割一次顶进一次，墙体切割所形成的断面宜与新箱涵刃角面平行，墙体与底板相连接处用机械处理后顶板与墙滑落至新箱涵悬臂板下，再用机械处理；若墙体采用绳锯切割，墙体外侧路基土需挖孔以具备穿切割绳条件。

(2) 水钻切割：水钻切割是采用金刚石钻孔机在钢筋混凝土结构上连续钻孔，将需要切除的混凝土构件与原结构分离。

(3) 金刚石锯切割：采用金刚石水锯将需拆除部位与原结构分离。

(4) 切割拆除具体施工方法见附 8.4.2 条文说明。

8.5 二维顶进法

8.5.1 适用范围

对于下穿多股铁路线路，结构较长，施工现场场地较小，不满足纵向整体预制施工，可采用二维顶进施工方法来满足现场施工的要求。

8.5.2 主要内容

施工现场总体工艺优化研究，用二维布局工艺替代传统的一维布局工艺。解决因施工场地问题需要对周边建筑物进行拆除的问题。改变传统的顶进方式，利用现有场地预制箱涵，通过横移加纵移的形式，既满足了顶进的需要，又保证了周边建筑物的安全，避免多处周边建筑物拆迁，降低工程投资。

8.5.3 基坑的工艺布局分析

传统的“一维”顶进布局形式，适合地势开阔地区，对于项目距周围建筑物较近，需对周围已有邻近建筑物进行拆迁，拆除量大。采用“二维”顶进的布局方案，该方案既能保证施工现场周围建筑物不用拆除，同时保证既有线的正常运营。

8.5.4 基坑布置形式

经过分析将基坑布局分为纵向推进区和预制区，推进区主要是将箱涵顶进至线路下，预制区是将箱涵浇筑完成，在箱涵顶进时将箱涵输送至推进区。

8.5.5 顶进施工方法

根据现场情况，分多节预制箱涵，分节横向布置。第一节顶进后，第二节先进行横向顶进，与第一节位置对应上后，再进行纵向整体顶进。以此类推，将各节箱涵全部顶进就位。

8.6 无抗移桩顶进法

箱涵顶进工程，顶进施工前先设置抗移桩，然后将线路加固横梁固定在抗移桩冠梁上防止线路变形，最后进行箱涵顶进。但涉及到站内多股线路箱涵顶进施工时，由于顶进距离较长，导致抗移桩无法起到抗移效果，容易出现线路横移的现象，影响铁路行车安全。对于施工范围内线路复杂，施工场地狭小，支撑桩无法制作的情况下，可采用无抗移桩顶进法。适用于采用纵横梁体系加固的下穿多股线路的箱涵的顶进施工。

8.6.1 主要原理

在无抗移桩情况下，在箱涵上设置拉梁环，通过倒链连接拉梁环，产生向后的拉力，起到常规施工中抗移桩提供给加固体系在反作用力的功能，另一方面通过减小涵身与加固体系的摩擦系数，从而减小箱涵与体系的摩擦力，进而防止线路横移。

8.6.2 施工准备

- 1 为防止线路变形，每条铁路线路进行应力放散，并对加固范围内钢轨螺栓全部拧紧加固。

- 2 在钢轨上标出需要设置倒链和钢丝绳的位置，在此位置必须设置一根横梁工字钢，方便固定钢丝绳。

8.6.3 拉梁环预埋

- 1 箱涵按照设计预制，在顶板设置拉梁环。

- 2 拉梁环布置宜采用纵横阵列布置。拉梁环制作成 U 型，U 型拉梁环半径应满足所用倒链使用需求，锚入箱涵顶板长度应满足受力要求。

- 3 箱涵顶板钢筋绑扎完，根据放线位置预埋拉梁环。拉梁环安装必须为箱涵顶进方向设置，拉梁环预埋段宜设置成 L 型，保证拉梁环稳定。

8.6.4 减阻措施

拉梁环与线路加固体系纵梁连接，横梁工字钢下设置滑轮小车，为减小滑轮小车与顶板的摩擦在滑轮小车与顶板间安装钢板，同时涂抹润滑剂，加大钢板的润滑度。钢板按顶进方向布置。

8.6.5 抗移系统安装

- 1 抗移系统包括钢丝绳、倒链、钢板、拉梁环等。

- 2 将钢丝绳一端固定在加固体系的纵梁上，另一端固定在倒链上，钢丝绳需要穿过铁路时必须套上绝缘套，防止铁路行车红光带；倒链另一端固定在顶板的拉梁环上。

3 每两组抗移体系间预留一个拉梁环，防止由于局部拉力过大，使拉梁环拉发生断裂无法继续施工。

4 箱涵顶进前，在线路不发生位移的前提下拉紧钢丝绳。

8.6.6 箱涵顶进

1 箱涵顶进至加固体下方后，倒链开始使用。在箱涵顶进的同时拉倒链，使线路向前的摩擦力与倒链拉力相互抵消，保证箱涵顶进速度与抗移系统保持同步。

2 箱涵顶进过程中，随时观测线路变形，线路发生局部变形后，及时对该区域箱涵的倒链进行加快或减慢操作。

8.6.7 加固系统拆除

箱涵顶进就位后，拆除倒链、钢丝绳、钢板等，立即组织人员和机械进行线路恢复，同时拆除加固系统，根据铁路公司文件要求进行换枕，回填道砟，捣固密实，阶梯提速恢复行车速度。

8.7 纠偏措施

8.7.1 箱涵顶进就位允许偏差参考表 3.3.5 箱涵顶进后允许偏差表。

8.7.2 预防“扎头”措施：

1 降低地下水至开挖面以下 1.0m。

2 避免扰动基层土层。

3 设接长滑板，设接长滑板，滑板顶面设置 2‰~3‰的前高后低的坡度，但前后端高差不宜大于 10cm。宜在底板前端设置 1~2m 长、高度为 5cm~10cm 的船头坡。

4 预先设置地锚梁。

5 加快连续顶进速度、加强监测、及时调整等。

8.7.3 箱涵“扎头”纠正措施：

1 进一步强化降水，并在箱涵前进行高压旋喷桩或浆砌片石垛，增设混凝土垫梁或混凝土底板，必要时混凝土板下增打钢板桩。

2 降低千斤顶轴线，调整刃角坡度，强迫顶进时增加上抬力矩。

3 在刃角、底板前面适当增加欠挖面积，然后强制顶进。

4 加快顶进，连续作业。

8.7.4 预防方向偏位措施：

1 滑板上应设置导向墩控制箱涵的顶进方向，确保箱涵入土前方向准确。

2 斜交顶进易发生方向偏差,应根据与线路斜交角度计算不平衡力矩,采取不对称布镐或控制两侧开镐数量来加以平衡。

3 顶进时箱涵两边的土体宜保持均等一致,不得超挖或欠挖。

8.7.5 纠正方向偏位措施

1 调整两侧千斤顶启动数量进行纠偏。

2 调整两侧挖土量,采用侧面超挖、欠挖措施。严格控制挖土轮廓尺寸,避免超挖、欠挖。

3 箱涵入土后,通过调整左右开镐数量和侧刃角不对称吃土的办法来加以控制。当单靠调整千斤顶顶力效果不明显时,可以使两刃角左右不对称吃土,即当箱涵偏左时,左侧少吃土,右侧多吃土,使左侧顶进速度快于右侧。当箱涵偏右时,右侧少吃土,左侧多吃土,使右侧顶进速度快于左侧,从而控制顶进方向。

9 涵管顶进

9.0 一般规定

9.0.1 管道顶进方法的选择,应根据管道所处土层性质、管径、地下水位、附近地上与地下建筑物、构筑物和各种设施等因素,经技术经济比较后确定,并应符合下列规定:

1 在粘性土或砂性土层,且无地下水影响时,宜采用手掘式或机械挖掘式顶管法;当土质为砂砾土时,可采用具有支撑的工具管或注浆加固土层的措施。

2 在粘性土层中必须控制地面隆陷时,宜采用土压平衡式顶管法。

3 在粉砂土层中且需要控制地面隆陷时,宜采用土压平衡式或泥水平衡式顶管法。

9.0.2 采用手掘式顶管时,应将地下水位降至管底以下不小于 0.5m 处,并应采取措施,防止其他水源进入顶管管道。

9.0.3 顶管施工中的测量,应建立地面与地下测量控制系统,控制点应设在不易扰动、视线清楚、方便校核、易于保护处。

9.1 工作坑

9.1.1 采用装配式后背墙时应符合下列规定:

1 管径大于等于 1.75m 或顶程大于 35m 或沙土、淤泥土等承载力弱的地质严禁采用装配式后背墙。

2 装配式后背墙宜采用枕木、钢轨、型钢等组装,组装后的后背墙应有足够的强度和

刚度；横向枕木应采用长度不小于 2.75m 双层或三层枕木、竖向钢轨、型钢必须密排插入工作坑底面不小于 1.5m。

3 后背土体壁面应平整，并与管道顶进方向垂直。

9.1.2 工作坑应按设计文件、施工规范放坡、开挖、支护。

9.1.3 利用已顶进完毕的管道作后背时，应符合下列规定：

1 待顶管道的顶力应小于已顶管道的顶力。

2 后背钢板与管口之间应衬垫缓冲材料。

3 采取措施保护已顶入管道的接口不受损伤。

9.1.4 当顶管后背墙采用钢筋混凝土时，应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666 的规定。

9.1.5 采用钢管作预埋顶管洞口时，钢管外宜加焊止水环，且周围应采用钢制框架，按设计位置与钢筋骨架的主筋焊接牢固；钢管内宜采用具有凝结强度的轻质胶凝材料封堵；钢筋骨架与井室结构或顶管后背的连接筋、螺栓、连接挡板锚筋，应位置准确，联接牢固。

9.1.6 顶管完成后的工作坑应及时进行验收，验收合格后进行下道工序。

9.1.7 龙门口预留进、出洞口的位置应符合设计和相关规范的要求。

1 洞口土层不稳定时，应对土体进行改良，进出洞施工前应检查改良后的土体强度和渗漏水情况。

2 在软弱地层，洞口外缘宜设支撑点。

9.2 设备安装

9.2.1 导轨应选用钢质材料制作，其安装应符合下列规定：

1 导轨安装的允许偏差应为：

轴线位置：3mm

顶面高程：0~+3mm

两轨内距：±2mm

2 安装后的导轨应牢固，不得在使用中产生位移，并应经常检查校核。

9.2.2 千斤顶的安装应符合下列规定：

1 管径大于等于 2150mm 应采用 U 型顶柱（铁），千斤顶应对称固定在 U 型支架上，并与后背垂直同管壁在一条直线上。

2 管径 $1150\text{mm} \leq \phi < 2150\text{mm}$ 时，宜采用新月型顶柱（铁）使其合力作用点在管体与两

导轨交点连线即弦的中垂线上。

3 千斤顶应对称布置使其合力作用点在管体与两导轨交点连线即弦的中垂线上。严禁使用不同规格的千斤顶。

4 千斤顶的油路应并联，每台千斤顶应有进油、退油的控制系统。

9.2.3 油泵安装和运转应符合下列规定：

1 油泵宜设置在千斤顶附近，油管应顺直、转角少。

2 油泵应与千斤顶相匹配，并应有备用油泵；油泵安装完毕，应进行试运转。

3 顶进开始时，应缓慢进行，待各接触部位密合后，再按正常顶进速度顶进。

4 顶进中若发现油压突然增高，应立即停止顶进，检查原因并处理后方可继续顶进。

5 千斤顶活塞退回时，油压不得过大，速度不得过快。

9.2.4 分块拼装式顶柱（铁）的质量应符合下列规定：

1 顶柱（铁）应有足够的刚度。

2 顶柱（铁）宜采用铸钢整体浇铸或采用型钢焊接成型；当采用焊接成型时，焊缝不得高出表面，且不得脱焊。

3 顶柱（铁）的相邻面应互相垂直。

4 同种规格的顶柱（铁）尺寸应相同。

5 顶柱（铁）单块放置时应能保持稳定。

9.2.5 顶柱（铁）的安装和使用应符合下列规定：

1 安装后的顶柱（铁）轴线应与管道轴线平行、对称，顶柱（铁）与导轨和顶柱（铁）之间的接触面不得有泥土、油污。

2 更换顶柱（铁）时，应先使用长度大的顶柱（铁）；顶柱（铁）拼装后应锁定。

3 顶柱（铁）的允许联接长度，应根据顶柱（铁）的截面尺寸确定。

4 顶柱（铁）与管口之间应采用缓冲材料衬垫，当顶力接近管节材料的允许抗压强度时，管端应增加U形或环形顶柱（铁）。

5 顶进时，工作人员不得在顶柱（铁）上方及侧面停留，并应随时观察顶柱（铁）有无异常迹象。

9.2.6 采用起重设备下管时应符合下列规定：

1 起重机械设备必须要有合格证，根据现场的作业环境，确定起重机械支设的位置，支腿的基础必须稳固。根据起重机械施工的作业半径、出臂长度、吊装材料（顶管机组、混凝土管和顶进设备）的最大重量等，选择确定起重设备的机械型号。

2 正式作业前应试吊，吊离地面 10cm 左右时，检查重物捆扎情况和制动性能，确认安全后方可起吊。

3 下管时工作坑内严禁站人，当管节距导轨小于 50cm 时，操作人员方可近前工作。

4 严禁超负荷吊装。

9.3 顶进

9.3.1 开始顶进前应检查下列内容，确认条件具备时方可开始顶进。

1 全部设备经过检查并经过试运转。

2 工具管在导轨上的中心线、坡度和高程应符合第 9.2.1 条的规定。

3 防止流动性土或地下水由洞口进入工作坑的措施。

4 开启封门的措施。

9.3.2 拆除封门时应符合下列规定：

1 采用钢板桩支撑时，可拔起或切割钢板桩露出洞口，并采取措施防止洞口上方的钢板桩下落。

2 采用沉井时，应先拆除内侧的临时封门，再拆除井壁外侧的封板或其他封填措施；

3 在不稳定土层中顶管时，封门拆除后应将工具管立即顶入土层。

9.3.3 工具管开始顶进 5~10m 的范围内，允许偏差应为：轴线位置 3mm，高程 0~+3mm。当超过允许偏差时，应采取措施纠正。

在软土层中顶进混凝土管时，为防止管节飘移，可将前 3~5 节管与工具管联成一体。

9.3.4 采用手工掘进顶管法时，应符合下列规定：

1 工具管接触或切入土层后，应自上而下分层开挖；工具管迎面的超挖量应根据土质条件确定。

2 在允许超挖的稳定土层中正常顶进时，管下部 135° 范围内不得超挖。

3 顶进挖土时，管前挖土长度，在铁路道床下不宜超越管端以外 10cm，在道床以外部分不宜超过 30cm，并应随挖随顶。管节周围上部允许超挖 1.5cm，下部 135° 范围内不得超挖。为保证圆管在顶进过程中方向和高程的准确，工作坑内应设置稳固的测量仪器，实时对圆管顶进的方位进行观测，实时进行调整。

4 在对顶施工中，当两管端接近时，可在两端中心先掏小洞通视调整偏差量。

9.3.5 顶管的顶力可按下式计算，亦可采用当地的经验公式确定：

$$P=f \gamma D_1 [2h+(2h+D_1) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \phi/2) + \omega / \gamma D_1] L + P_f$$

式中：P—计算的总顶力(kN)；

γ —管道所处土层的重力密度(kN/m³)；

D_1 —管道的外径(mm)；

H—管道顶部以上覆盖土层的厚度(m)；

ϕ —管道所处土层的内摩擦角(°)；

ω —管道单位长度的自重(kH/m)；

L—管道的计算顶进长度(m)；

F—顶进时，管道表面与其周围土层之间的摩擦系数，

其取值可按表 9.3.7 所列数据选用；

P_F —顶进时工具管的迎面阻力(kN)。

表 9.3.5 顶进管道与其周围土层的摩擦系数

土类	湿土	干土
粘土、亚粘土	0.2~0.3	0.4~0.5
砂土、亚砂土	0.3~0.4	0.5~0.6

9.3.6 采用钢筋混凝土管时，其接口处理应符合下列规定：管节未进入土层前，接口外侧应垫麻丝、油毡或木垫板，管口内侧应留有 10~20mm 的空隙；顶紧后两管间的孔隙宜为 10~15mm。

9.3.7 采用 T 形钢套环橡胶圈防水接口时，应符合下列规定：

1 混凝土管节表面应光洁、平整、无砂眼、气泡；接口尺寸符合规定。

2 橡胶圈的外观和断面组织应致密、均匀，无裂缝、孔隙或凹痕等缺陷。安装前应保持清洁，无油污，且不得在阳光下直晒。

3 钢套环接口无疵点，焊接接缝平整，肋部与钢板平面垂直，且应按设计规定进行防腐处理。

9.3.8 采用橡胶圈密封的接口或防水接口时，应符合下列规定：

1 粘结木衬垫时凹凸口应对中，环向间隙应均匀。

2 插入前，滑动面可涂润滑剂；插入时，外力应均匀。

3 安装后，发现橡胶圈出现位移、扭转或露出管外，应拔出重插。

9.3.9 顶管结束后，管节接口的内侧间隙应按设计规定处理；设计无规定时，可采用石棉水泥、弹性密封膏或水泥砂浆密封。填塞物应抹平，不得凸入管内。

9.3.10 工具管进入土层后的管端处理应符合下列规定：

- 1 进入接收坑的工具管和管端下部应设枕垫。
- 2 管道两端露在工作坑中的长度不得小于 0.5m，且不得有接口。
- 3 钢筋混凝土管道端部应及时浇筑混凝土基础。

9.3.11 在管道顶进的全部过程中，应控制工具管前进的方向，并应根据测量结果分析偏差产生的原因和发展趋势，确定纠偏的措施。

9.3.12 管道顶进过程中，工具管的中心和高程测量应符合下列规定：

- 1 采用手工掘进时，工具管进入土层过程中，每顶进 30cm，测量不应少于一次；管道进入土层后正常顶进时，每顶进 100cm，测量不应少于一次，纠偏时应增加测量次数。
- 2 铁路观测应符合铁路公司相关规定。
- 3 全段顶完后，应在每个管节接口处测量其轴线位置和高程；有错口时，应测出相对高差。

9.3.13 纠偏时应符合下列规定：

- 1 应在顶进中纠偏。
- 2 应采用小角度逐渐纠偏。
- 3 纠正工具管旋转时，宜采用挖土方法进行调整或采用改变切削刀盘的转动方向，或在管内相对于机头旋转的反向增加配重。

9.3.14 管道顶进应连续作业。管道顶进过程中，遇下列情况时，应暂停顶进，并应及时处理：

- 1 工具管前方遇到障碍。
- 2 后背墙变形严重。
- 3 顶柱（铁）发生扭曲现象。
- 4 管位偏差过大且校正无效。
- 5 顶力超过管端的允许顶力。
- 6 油泵、油路发生异常现象。
- 7 接缝中漏泥浆。
- 8 单位出土量出现较大变化。

9.3.15 当管道停止顶进时，应采取防止管前塌方的措施。

9.3.16 顶进管道的施工质量应符合下列规定：

- 1 管内清洁，管节无破损。
- 2 允许偏差应符合表 9.3.16 的规定。

表 9.3.16 顶进管道允许偏差

项目	条件	允许偏差 (mm)
轴线位置		50
管道内底高程	D<1500mm	+30 -40
	D≥1500mm	+40 -50
相邻管间错口	钢管道	≤2
	钢筋混凝土管道	15%壁厚且不大于 20
对顶时两端错口		50

注：D 为管道内径 (mm)。

3 钢筋混凝土管道的接口应填料饱满、密实，且与管节接口内侧表面齐平，接口套环对正管缝、贴紧，不脱落。

4 顶管时地面沉降或隆起的允许量应符合施工设计的规定。

9.3.17 采用中继间时应符合下列规定：

1 中继间千斤顶的数量应根据该段单元长度的计算顶力确定，并应有安全储备。

2 中继间的外壳在伸缩时，滑动部分应具有止水性能。

3 中继间安装前应检查各部件，确认正常后方可安装；安装完毕应通过试运转检验后方可使用。

4 中继间的启动和拆除应由前向后依次进行。

5 拆除中继间时，应具有对接接头的措施；中继间外壳若不拆除时，应在安装前进行防腐处理。

6 长距离管涵顶进宜采用密封性能可靠、密封圈压紧度可调及可更换的密封装置。

9.4 触变泥浆及注浆

9.4.1 采用触变泥浆减阻措施时，应包括以下主要内容：

1 泥浆配合比压浆数量及压力的确定。

2 制备和输送泥浆的设备及其安装规定。

3 注浆工艺、注浆系统及注浆孔的布置。

4 顶进洞口封闭泥浆的措施。

5 泥浆的置换。

9.4.2 管径大于或等于 2150mm 时，结合触变泥浆管体宜采取涂蜡减阻措施，采用柴油和

优质石蜡按照 3:1 的质量比混合熬制 30min 后, 均匀涂在管体外表表面。

9.4.3 触变泥浆的压浆泵, 宜采用活塞泵或螺杆泵。管路接头宜选用拆卸方便、密封可靠的活接头。

9.4.4 注浆孔的布置宜符合下列规定:

- 1 注浆孔的布置宜按管道直径的大小确定, 每个断面可设置 1~3 个。
- 2 相邻断面上注浆孔可平行布置或交错布置。

9.4.5 触变泥浆的配合比, 应根据管道周围土层的类别、膨润土的性质以及触变泥浆的技术指标通过试验确定。

9.4.6 触变泥浆的注浆量, 宜按管道与其周围土层之间环形间隙的 1~2 倍估算。

9.4.7 触变泥浆的灌注应符合下列规定:

1 膨润土泥浆搅拌时间应大于 30min, 经过充分搅拌的泥浆抽入储浆箱进行发酵, 发酵时间应大于 6h。

2 注浆前, 应通过注水检查注浆设备, 确定设备正常后方可灌注。

3 管体边顶进边注浆, 注浆压力可按不大于 0.1MPa 开始加压, 在注浆过程中的注浆流量、压力等施工参数, 应按减阻及控制地面变形的量测资料调整。

4 每个注浆孔宜安装阀门, 注浆遇有机械故障、管路堵塞、接头渗漏等情况时, 经处理后继续顶进。

9.4.8 触变泥浆的置换应符合下列规定:

- 1 可采用水泥砂浆置换触变泥浆。
- 2 拆除注浆管路后, 应将管道上的注浆孔封闭严密。
- 3 注浆及置换触变泥浆后, 应将全部注浆设备清洗干净。

9.4.9 在不稳定土层中顶管采用注浆加固法时, 应通过经济比较确定加固方案。

10 其他附属工程

10.0 箱涵栏杆、电缆槽

10.0.1 栏杆、电缆槽模板安装必须稳固牢靠, 接缝严密, 不得漏浆。模板与混凝土的接触面必须清理干净并涂刷脱模剂。浇筑混凝土前, 模板内的积水和杂物应清理干净。钢筋与混凝土的要求同结构主体。栏杆采用原有护栏封闭, 电缆槽强弱电分开。

10.0.2 钢栏杆采用工厂加工或现场加工、现场焊接组装方式, 安装前后应进行除锈及防腐处理。

10.0.3 对于线路以外箱涵较长，边墙两侧有悬空，采用铁路护网沿边墙顶部设置至路肩处，与铁路两侧既有护网顺接。

10.1 出入口挡墙

10.1.1 工作坑开挖

制定路基加固方案时应考虑翼墙开挖的措施，宜采用路基防护桩方案，工作坑开挖时应采取临时支护措施，保持边坡稳定。地质条件较差、工作坑开挖较深、边坡稳定性较差时，应分段槽开挖，并及时进行基础底封闭。

10.1.2 挡墙基础

在基础混凝土浇筑前应将基底清理干净，混凝土强度等级严格按照设计要求。

10.1.3 墙身施工

基础混凝土浇筑后，进行挡墙墙身模板施工。墙身混凝土宜采用分层浇筑施工，混凝土强度达到 70% 以上方可进行挡墙墙背回填。

11 环境保护

11.0.1 保护植被，作好水土保持。施工区域内及周围的树木和植被不得随意砍伐和破坏。若施工需要挖除植被，应采取永久有效措施，及时植树、种草，恢复植被。

11.0.2 防止水污染。施工和生活污水未经处理严禁流入城市排水设施和河流。施工机械的废油废水以及临时食堂的污水应采用隔油池等有效措施加以处理，不得超标排放。禁止有毒有害废弃物用作土方回填。

11.0.3 防止大气污染。应选择低污染机械设备，运输储存土方、砂子等散体材料应采取遮盖措施，防止遗洒、扬尘。

11.0.4 防止固体物污染。生活垃圾应集中堆放，指定地点消纳，报废材料应按规定进行处理。

11.0.5 防止噪音污染。应加强机械设备维修保养，使噪音降低到最低水平。

11.0.6 泥浆处理。施工中产生的泥浆应及时清理并外运，外运时应采用密闭罐车。

11.0.7 竣工前环境恢复。工程完工后宜将临时设施全部拆除、清理。可以利用的，可通过当地政府或环保部门协议转让。

附表一 井点降水适用范围

井点类型	土层渗透系数 (m/d)	降低水位深度 (m)	土质类别
一级轻型井点	0.1~80	3~6	粉质粘土、粉土、砂土
多级轻型井点	0.1~80	6~9	粉质粘土、粉土、砂土
管井井点法	20~200	3~5	粉质粘土、粉土、砂土、碎石土、岩石
电渗井点法	<0.1	5~6m 粉质粘土	粉质粘土、粉土、砂土、碎石土
喷射井点	0.1~50	8~20	粉土、砂土
深井泵法	10~80	>15	砂土、碎石土
射流泵井点法	0.1~50	小于 10	粉土、砂土

附表二 相关试验内容

1 取样方法

(1) 水泥、矿物掺合料及外加剂

分类	名称	批量	取样数量	取样方法
水泥 矿物掺合料 外加剂	水泥	同厂家、同批号、同品种、同强度等级、同出厂日期的散装水泥每 500 t，(袋装水泥每 200 t) 为一批，当不足上述数量时也按一批计。施工单位每批抽检一次；监理取样检测的次数为施工单位抽样试验次数的 10%，但至少一次。	样品总量 不少于 12kg	同厂家、同批号、同品种、同强度等级、同出厂日期的水泥从 20 个不同部位或 20 袋中取同等数量样品拌合均匀，总量 12kg。
	粉煤灰	同厂家、同品种、同批号、同出厂日期的产品每 200t 检验一次，不足 200t 时也按一批计。施工单位每批检验一次；监理取样检测的次数为施工单位抽样试验次数的 10%，但至少一次。	样品总量 不少于 3kg	每一编号为一取样单位，当散装粉煤灰运输工具的容量超过该厂规定出厂编号吨数时允许该编号的数量超过取样规定吨数。取样应具有代表性，从 10 个不同部位样品拌合均匀，总量至少 3kg
	矿粉		样品总量 不少于 20kg	取样应有代表性，可连续取样，也可在 20 个以上部位取等量样品，总量至少 20kg。
	高效减水剂	掺量大于 1% (含 1%) 同品种的外加剂每一编号为 100t，掺量小于 1% 的外加剂每一编号为 50t，不足 100t 或 50t 的也可按一个批量计。监理抽检 10% 平行检验，但至少一次。	每一批号 取样量少于 0.2t 水泥 所需 额外加剂 量	试样应从不少于三个不同部位等量抽取

(2) 粗、细骨料

分类	名称	批量	取样数量	取样方法
骨料	砂子	连续进场的同料源、同规格 400m ³ 或 600t 为一批，不足上述数量时，也按一批计。	样品总量 不少于 25kg	1 在料堆取样时，先将取样部位表面铲除，然后均匀由各部位抽取大致相等的砂 8 份，石子 15 份，组成各自一组样品。

	碎石		样品总量 不少于 80kg	2 从皮带运输机上取样时应在皮带运输机机尾的出料处用接料器定时抽取砂 4 份，石 8 份组成各自一组样品。 3 从火车、汽车、货船上取样时，应从不同的部位和深度抽取大致相等的砂 8 份，石子 16 份，组成各自一组样品。
--	----	--	---------------------	---

(3) 钢材

分类	名称	批量	取样数量	取样方法
钢筋	热轧带肋钢筋	每批同一牌号、同一炉罐号、同一规格钢筋，每批重量通常不大于 60t。超过 60t 的部分，每增加 40t（或不足 40t 的余数），增加一个拉伸试验试样和一个弯曲试验试样	拉伸 2 根；弯曲 2 根	各任选两根钢筋切取，从每根钢筋的端头至 500mm 处截断去掉，自截断处各截取 1 个拉伸，1 个弯曲
	热轧光圆钢筋		拉伸 2 根；弯曲 2 根	
	碳素结构钢	每批同一牌号、同一炉号、同一质量等级、同一品种、同一尺寸同一交货状态的钢材，每批重量不大于 60t。	拉伸 1 根；弯曲 1 根	
	冷轧带肋钢筋		每盘 1 个拉伸；每批 2 个弯曲	在每（任）盘中随机切取

(4) 钢筋焊接

分类	名称	批量	取样数量	取样方法
钢筋焊接	闪光对焊	同级别、同规格、同接头形式和同一焊工完成的，300 个接头应作为一批，不足 300 个也按一批计算；（在同一台班内，由同一焊工按同一焊接参数完成的 300 个同类型（指钢筋级别和直径均相同的接头）接头作为 1 批。一周内连续焊接时可以连续计算，一周内累计不足 300 个接头时，亦按 1 批计算。）	拉伸试验 3 根；弯曲试验 3 根（异性接头、螺丝端杆接头只做拉伸试验）	拉伸试件取样长度： $L \geq 8d + 2l_j$ ，弯曲试件为 $L \geq (D + 3a) \pm 2/a + 150\text{mm}$ ；（L—式样长度（mm）； l_j —加持长度；d—钢筋直径；a—弯曲式样直径（mm）；D—弯曲压头直径（mm））
	电弧焊接	现浇混凝土结构中，应以 300 个同牌号钢筋、同形式接头作为一批。	从成品中每批切取 3 个接头做拉伸试验。	试样应从样品中切取，常用接头取样长度：双面帮条焊（搭接焊）拉伸试件为 $L \geq 8d + l_h + 2l_j$ ，单面帮条焊（搭接焊）拉伸试件为 $L \geq 5d + l_h + 2l_j$ ，

				(l_j —夹持长度； d —钢筋直径； l_h —焊缝长度)
	电渣压力焊	同级别、同规格、同接头型式、同牌号和同一焊工完成的,300个接头应作为一批,不足300个也按一批计算;	每批随机切取3个接头试件做拉伸试验	试样应从样品中切取,取样长度:拉伸试件为 $L \geq 8d + 2l_j$ 。 (l_j —夹持长度; d —钢筋直径)
机械连接	套筒连接	同钢筋生产厂、同强度等级、同规格、同类型和同型式接头以500个为一批,不足500个也应作为一批。	每批随机切取3个接头试件做拉伸试验	试样长度一般为(400-550)mm

(5) 防水涂料

分类	名称	批量	取样数量	取样方法
防水涂料	聚氨酯防水涂料	以同一类型、同一规格15t为一批,不足15t亦可作为一批(多组分产品按组分配套组批)	每批2组,每组5kg	在每批产品中随机抽取两组样品,一组样品用于检验,另一组样品封存备用。每组抽取5kg,抽样前产品应搅匀。若采用喷涂方式,取样量按需抽取。

2 混凝土中的碱含量要求应符合设计要求。设计没有具体要求时,应满足下表规定。

混凝土最大碱含量限值

环境条件		碱含量 (kg/m^3)
干燥环境 (相对湿度 $<75\%$)		3.0
潮湿环境 (相对湿度 $\geq 75\%$)	集料无活性	
	集料有活性	严格控制混凝土碱含量并掺加矿物掺合料

注:混凝土中的碱含量指所有组分碱物质含量之和,以等效 Na_2O 当量的水溶碱计。

3 钢筋混凝土中由水泥、矿物掺和料、骨料、外加剂和拌和用水等引入的氯离子总量不应超过胶凝材料总量的0.10%。

4 混凝土拌合和养护用水应符合下表要求:

检验项目	抽样试验检验	技术指标
------	--------	------

	项目	频次	项目	频次	钢筋混凝土	素混凝土
	PH 值	√	√	同一水源的涨水季节检验一次。施工单位试验检验；监理见证或平行检验。	>4.5	>4.5
	不溶物含量 mg/L	√	√		<2000	<5000
	可溶物含量 mg/L	√	√		<5000	<10000
	氯化物含量 mg/L	√	√		<1000	<3500
	硫酸盐含量 mg/L	√	√		<2000	<2700
	碱含量 mg/L	√	√		<1500	<1500
	凝结时间差	√			不得大于 30 分钟	
	抗压强度比	√			28 天抗压强度（水泥砂浆或混凝土）>90%	

5 混凝土力学性能检验要符合下列要求：

序号	类别	检验项目	标准规定制件
一	钢筋混凝土及素混凝土结构	同条件养护试件脱模抗压强度	1 每班、每一结构部位至少各 1 组。 2 每 100m ³ 混凝土至少各 1 组。
		同条件养护试件抗压强度（1200℃·d 或 600℃·d）	
		标准养护试件 28d 或 56d 抗压强度	
二	抗渗混凝土	28d 或 56d 标准养护试件抗压强度	1 每班、每一结构部位至少各 1 组。 2 每 100m ³ 混凝土至少各 1 组（不足 100m ³ 也至少 1 组）。
		同条件养护试件抗压强度	
		抗渗检查试件	每 5000m ³ 混凝土至少 1 组（6 块 1 组，不足 5000m ³ 也至少 1 组）。

6 实体混凝土质量检验符合下表：

序号	检验项目	检验频次
1	表面裂缝宽度	每一结构或构件不少于 3 处，每处不少于 10 个点，混凝土小于 1m ³ 单个构件不小于 5 个点。
2	混凝土保护层厚度	

本技术指南用词说明

使用本技术指南条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

1、表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”。

反面词采用“严禁”。

2、表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”。

反面词采用“不应”或“不得”。

3、表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”。

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

征求意见稿

本技术指南条文说明

总则

4.2.2 注浆

正式注浆前，必须采用不同的配合比、注浆压力等进行注浆试验，达到对路基加固的同时，还要密切观测隆起量，其控制值要符合相关规范和设计文件的要求，根据试验结果选择比较理想的注浆参数。注浆工艺参数包括：注浆压力、扩散半径、注浆深度、注浆孔直径、注浆孔间距、浆液配合比、注浆量等。

以下是展开说明

1 施工控制标准：在正常情况下注入理论耗量 Q 为：

$$Q=V \cdot n \cdot m$$

式中： V —设计注浆体积（ m^3 ）；

n —土的孔隙率；

m —注入率（一般为 0.5-1）。

2 浆体材料及配比：路基注浆加固一般采用水泥浆、水泥浆加水玻璃等形式。配合比经现场试验确定。

3 确定扩散半径：浆液扩散半径 R 是一个重要参数，它对灌浆工程量及造价具有重要的影响； R 值可按理论公式进行估算；当地质条件较复杂或计算参数不易选准时，就应通过现场注浆试验来确定。

$$R \approx \sqrt{\frac{3KPr_0t}{\beta n}}$$

式中： K —渗透稳定系数；

P —注浆压力；

r_0 —注浆半径；

t —注浆时间；

n —土的孔隙率；

β —损失系数，一般取 0.1~0.3。

4 孔位布置：设计文件一般会规定孔位布置，同时也需要根据注浆试验进行合理调整，但必须经过监理、设计等单位的批准。

5 注浆压力：注浆压力值与地层土的密度、强度和初始应力、注浆深度、位置及注浆次序等因素有关，压力过大，会对原有土体短期产生一定副作用，削弱土体强度，压力过小，影响渗透效果。

注浆压力的确定：

确定注浆压力的原则是不破坏地层结构，因此注浆压力 P 小于地层的起劈压力 P_c 。

$$P_c = \frac{(\gamma h - \gamma_w h_w)(1+k)}{2} - \frac{(\gamma h - \gamma_w h_w)(1-k)}{2 \sin \varphi} + C \cdot \cot \varphi$$

式中： P_c —实际注浆压力，MPa；

φ —有效内摩擦角；

C —有效粘聚力；Pa；

γ —土层重度， g/cm^3 ；

h —注浆段深度，m；

h_w —注浆点地下水位高度，m；

k —主应力比。

6 注浆量：理论上注浆量的体积应为土的孔隙体积，但在注浆过程中，浆液并不可能完全充满土的孔隙体积，而土中水分亦占据孔隙的部分体积。所以，在计算浆液用量时，通常应乘以小于 1 的灌浆系数，但考虑到浆液容易流到设计范围以外，所以灌注所需的浆液总用量 Q 可参照下式计算：

$$Q = K \cdot V \cdot n \cdot 1000$$

式中： Q —浆液总用量（L）；

V —注浆对象的土量（ m^3 ）；

n —土的孔隙率；

K —经验系数。

7 注浆顺序：注浆顺序必须采用适合于地基条件、现场环境及注浆目的的方式进行，不宜采用自注浆地带某一端单向推进压注方式，应按跳孔间隔注浆方式进行，以防止串浆。

对加固渗透系数相同的土层，应先完成最上层封顶注浆，再按由下而上的原则进行注浆，以防浆液上冒。注浆时应采用先外围后内部的注浆顺序；注浆范围以外有边界约束条件（能阻挡浆液流动的障碍物）时，采用自内侧开始顺次往外侧的注浆方法。

5.2.3-1 在深工作坑工程中，止水帷幕一般采用竖向止水帷幕

1 竖向止水帷幕一般设置在基坑围护结构的外侧，打入基坑底面以下一定深度，形成封闭的止水帷幕，阻止基坑四周向基坑内渗流，从而使地下水只能从支护结构下端向基坑

渗流，若地下水压过大，就会有突涌等可能，一般还要设置基坑封底。

2 设置止水帷幕的方法很多，常用的有钢板桩、高压喷射注浆法和深层搅拌法。

3 高压喷射法：

(1) 高压喷射法是利用工程钻机钻孔至设计处理的深度后，用高压泥浆泵，通过安装在钻杆（喷杆）杆端置于孔底的特殊喷嘴，向周围土体高压喷射固化浆液（一般使用水泥浆液），同时钻杆（喷杆）以一定的速度边旋转边提升，高压射流使一定范围内的土体结构破坏，并强制与固化浆液混合，凝固后便在土体中形成具有一定性能和形状的固结物。

(2) 固结物的形状和喷射流的移动方向有关。一般分为旋转喷射、定向喷射和摆动喷射，常采用的是旋转喷射方式。

(3) 旋转喷射（旋喷）主要用于加固地基，提高地基的抗剪强度，改善地基土的变形性能，使其在上部结构荷载作用下，不致破坏或产生过大的变形。

(4) 高压喷射注浆工艺

1) 喷射范围应在现场通过试验确定。

2) 高喷固结体的范围大小与土层种类和其密实程度有较密切的关系，不同的喷射种类和喷射方式所形成的固结体大小也不相同。

3) 旋喷粘性土固结强度为 0.3~6.0MPa，无粘性土固结强度为 4~15Mpa。

4) 对于防渗工程宜采用定喷、摆喷，地层土粒径较粗时宜采用摆喷或旋喷。

5) 对处理深度大于 20m 的复杂地层最好按双排或三排布孔，使高喷桩形成堵水帷幕。同时止水帷幕，要采用咬合形式。

6) 高压喷桩桩距应根据上部结构荷载、单桩承载力及土质情况而定，一般取桩距为 $S=(3\sim4)d$ (d 为旋喷桩直径)，桩的布置方式可选用矩形或梅花形。

(5) 水泥是喷射灌浆的基本材料，水泥类浆液可分为以下几种类型：

1) 普通型浆液：一般采用普通硅酸盐水泥，不加任何外加剂，水灰比一般为 0.8: 1~1.5: 1，固结体的抗压强度（28d）最大可达 1.0~20MPa，适用于无特殊要求的工程。

2) 速凝早强型：适用于地下水位较高或要求早期承担荷载的工程，需在水泥浆中加入氯化钙、三乙醇胺等速凝早强剂；掺入 2%氯化钙的水泥，土的固结体的抗压强度为 1.6MPa，掺入 4%氯化钙后为 2.4Mpa。

3) 高强型：喷射固结体的平均抗压强度在 20MPa 以上；可以选择高标号的水泥，或选择高效能的扩散剂和无机盐组成的复合配方等。

(6) 在水泥浆中掺入 2~4%的水玻璃，其抗渗性有明显提高；如工程以抗渗为目的，

宜使用“柔性材料”；可在水泥浆液中掺入 10-50%的膨润土（占水泥重量的百分比）；此时不宜使用矿渣水泥，如仅有抗渗要求而无抗冻要求，可使用火山灰水泥。

4 深层搅拌法：

（1）深层搅拌法是利用水泥作为固化剂，通过特别的深层搅拌机械，在地基深处就将软土和水泥（浆液或粉体）强制搅拌后，水泥和软土将产生一系列物理、化学反应，使软土硬结改性；改性后的软土强度大大高于天然强度，其压缩性、渗水性比天然软土大大降低。

（2）水泥土的主要特征

1) 物理性质：水泥土的容重与天然土的容重相近，但水泥土的比重比天然土的比重稍大。

2) 无侧限抗压强度：水泥土的无侧限抗压强度一般为 300~400KPa，比天然软土大几十倍至百倍，但影响水泥土无侧限抗压强度的因素很多，如水泥掺量、龄期、水泥标号、土样含水率和有机质含量以及外掺剂等等。

（3）施工技术

1) 搅拌桩可布置成柱状、壁状和块状三种型式。用于地基加固，主要采用柱状式；用于防渗加固，应采用壁状式。壁状式是将相邻搅拌桩部分重叠搭接，具有较高的抗渗性能，可形成良好的隔水帷幕。

2) 施工时可采用湿法和干法施工

①湿法施工主要的施工机械为深层搅拌机。湿法的施工主要分为定位、制备水泥浆、预搅下沉、提升喷浆搅拌、重复搅拌下沉、喷浆搅拌提升或仅搅拌提升（根据设计要求）、移机清洗等几个步骤。

②干法是采用水泥粉料，由空气输送，通过搅拌叶片旋转产生的空隙部位喷出，并随着搅拌叶片的旋转均匀分布在空隙内，进而和原位地基土搅拌并混合在一起。施工机械主要是钻机、粉体发送器、空气压缩器、搅拌钻头等。施工工序主要为：柱体对位、下钻、钻进结束、提升喷粉、提升结束、桩体成型等几个步骤。

3) 湿法具有加固效果好、加固方式灵活、适用面广、施工速度快、能充分利用原状土、无弃土等优点。

5.2.3-2 钢板桩施工

1 钢板桩工作坑支护结构是将钢板桩打入土层，设置必要的支撑或拉锚，抵抗土压力和水压力，保持周围土层稳定，在软土层中施工速度快，钢板桩可拔出多次使用，降低成

本。通用的钢板桩有槽钢、工字钢、拉森钢板桩等。

(1) 钢板桩施工机具有冲击式打桩机、振动打桩机和静力压桩机。选择施工机具主要依据钢板桩的重量、长度及数量。

(2) 钢板桩应丈量检查，桩身有弯曲、扭曲变形的应加以整修，其规格、材质应符合要求。

(3) 应有工程地质资料、桩基施工平面图、桩基施工组织设计，轴线和标高均测定完毕，并经复核确认。

(4) 调查并排除地下管线、架空障碍物，并与打桩场地附近有防震要求的建筑物用户单位进行沟通，并采取有效措施。

2 施工作业

(1) 定位：钢板桩的设置应在基础的边缘外，留有支撑、拆模的位置，便于基础施工，在场地紧凑的情况下，可利用钢板桩作底板或承台侧模，并应配纤维板或油毛毡等隔离材料。

(2) 为确保钢板桩轴线一致，应设导向装置，导向桩或导向梁可采用型钢，也可用木材代替，导向梁间的净距即为板桩墙宽度。

(3) 桩架桩机就位：桩架桩机应平稳地架设在打桩部位，并按有关安装作业程序进行；打桩机就位时应对准桩位，垂直稳定，确保在施工中不倾斜、移动。

(4) 起吊钢板桩：先拴好吊桩的钢丝及索具，吊起钢板桩，扣好桩帽或夹具，使桩尖对准桩位中心，缓缓下插土中。插桩必须垂直，其垂直度偏差不得超过 0.5%。

(5) 钢板桩打入方法

1) 将板桩一根根地打入至设计标高。此方法施工速度快，桩架高度可低一些，但容易倾斜，当打设精度要求较高、桩长大于 10m 时不宜采用。

2) 屏风式打入法：将 10~20 根板桩成排插入导架内，使之成为屏风状，然后桩机来回托打，并使两端打至要求深度，再将中间部位的板桩顺次打入，防止板桩倾斜与转动。

(6) 钢板桩拔除的阻力取决于土对桩的吸附力和桩表面的摩擦阻力，同时也与钢板桩受力变形程度有关；拔桩的方法有静力拔桩、振动拔桩和冲击拔桩三种。

1) 拔桩地点和顺序可根据沉桩时的情况确定，宜采用间隔拔的方法。拔桩的顺序应与打桩时相反。

2) 拔桩过程中必须保持机械设备处于良好的工作状态。加强受力钢索的检查，避免发生断裂。

3) 当钢板桩拔出困难时, 可用振动锤式柴油锤再复打一下, 克服土的粘着力, 或将铁锈等消除, 以便顺利拔出。

4) 拔桩时带出土粒形成的孔隙会使土层受扰动而使工作坑内已施工的结构物发生沉降, 影响建筑设施的安全, 对此必须采取相应措施, 对拔桩造成的孔隙要及时用中粗砂填实或采取在拔桩时跟踪注浆等填充方法。

5.2.3-3 钢支撑施工

1 深工作坑支护体系由两部分组成, 一是围护墙, 二是内支撑。钢结构支撑具有自重小、安装和拆除方便、可以重复使用等优点, 在铁路软土地基大型箱涵深工作坑顶进施工中, 一般采用钢管作为工作坑支撑。

2 准备工作

(1) 支撑材料的选择

1) 钢支撑规格必须符合要求, 一般常用的规格为 $\phi 609$ 。

2) 每根钢支撑的配置按总长度不同配用一端固定另一端活络段或两端活络段, 在两个支承点间, 中间段最多不宜超过三节。

3) 钢支撑配置时应考虑每根总长度(活络段缩进时)比围护结构净距小 $10\sim 30\text{cm}$ 。

(1) 围檩

1) 钢支撑安装前应在围护结构墙或围檩上安装支承牛脚(也可在支承端板上焊接支承件)。

2) 围檩和多跨压杆支撑立柱混凝土应达到规定设计强度。

3 钢支撑安装施工

(1) 水平支撑体系由围檩水平支撑和立柱组成。水平支撑分为: 贯通工作坑全长或全宽的对撑支撑; 位于工作坑角部两邻边之间的斜角撑; 位于对撑端部的八字撑; 由围檩和靠近工作坑边的对撑为弦杆的边桁架、支撑之间的连杆等。

(2) 作用在支护结构上的竖向荷载包括支撑结构自重和支撑顶面的施工活载, 通常施工活载取 4KPa 。

(3) 钢支撑应采用两点吊装, 吊点一般在离两端 $0.2L$ 左右为宜。

4 钢支撑安装允许偏差规定

(1) 两端标高差: 不大于 200mm 及支撑长度的 $1/600$ 。

(2) 支撑挠曲度: 不大于支撑长度的 $1/1000$ 。

(3) 水平轴线差: 不大于 30mm 。

(4) 中心标高及同层支撑面标高差：±30mm。

5 钢支撑施加预应力

(1) 支撑安装完成后，其端面与围护墙或围檩侧面应平行，及时检查各节点的连接状况，经确认符合要求后方可施加预应力。

(2) 钢支撑应用专用设备施加预应力。预应力应分级施加，预应力应为设计预应力的 70%~80%。

6 检查加固

(1) 施加预应力后，应再次检查并加固，其端板处空隙应用微膨胀高强度等级水泥细石混凝土填实或铁板塞垫。

(2) 钢支撑两端应有可靠的支托或吊挂措施，严防围护墙变形或施工碰撞而发生脱落事故。

7 钢支撑拆除

(1) 钢支撑拆除时要按设计要求进行，否则应进行替代支承结构的强度和稳定安全检算后确定。

(2) 钢支撑拆除后应进行整理，凡构件变形超限或局部残缺的要进行校正修补。

(3) 钢支撑应分层整齐堆放，高度不超过四层，底层钢支撑下面应设垫木。

5.2.3-4 喷锚防护

1 喷锚防护是一种较先进的工作坑边坡加固技术，其基本原理是锚杆穿过土体滑动面深固于土体内部，形成锚杆、钢筋网和混凝土层的共同作用机理，通过这三者的共同工作来提高边坡的结构强度和抗变形刚度，减小侧向变形和坡面冲刷，增强边坡的整体稳定性。

2 构造设计要求

(1) 混凝土：混凝土强度等级及喷射厚度符合设计要求。

(2) 锚杆与锚固深度：锚杆直径满足设计要求；锚固深度满足设计长度；锚杆孔的深度应大于锚固深度 20cm，并用 1: 3~1: 4 的水泥砂浆固结；锚杆间距满足设计要求。

(3) 钢筋网：钢筋网的框架尺寸、钢筋直径满足设计要求，框架内用镀锌铁丝网覆盖，框架与镀锌铁丝网要绑扎牢固。

3 材料要求

(1) 水泥：P42.5 普通硅酸盐水泥。

(2) 砂：采用坚硬耐久的中粗砂，细度模数宜大于 2.5，含水率控制在 5%~7%。

(3) 骨料：采用坚硬耐久的碎石或卵石，粒径不宜大于 15mm；当采用碱性速凝剂时，

不得使用含有活性二氧化硅的石材。

(4) 外加剂：选用符合质量要求的速凝剂，掺速凝剂后的喷射混凝土性能必须满足设计要求。

(5) 水：混合水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害物质，不得使用污水以及 PH 值小于 4 的酸性水和含硫酸盐量按 SO 计算超过水重 1% 的水。

4 施工工序及技术措施

(1) 锚喷支护与基坑开挖相结合，逐层开挖、逐层锚固。

(2) 坡面整修：基坑开挖一层后，先将边坡表面破碎松散的土渣清理干净，对边坡局部不稳定处进行清刷或支补加固；在边坡松散空洞处和坡脚处设置一定数量的泄水孔，预留的长度根据现场确定布设。

(3) 喷射混凝土作业：喷射混凝土之前，用清水将坡面冲刷干净，湿润坡面；钻孔按照设计要求的角度、间距和孔深进行；如遇岩石过于坚硬时采取加水的方式钻孔，不得能强加压力冲钻，以免影响边坡岩石的稳定。

(4) 采用压力泵将 1:1 的水泥砂浆注入锚孔。如遇空洞不得加压太大，要保持 0.1MPa 的工作压力；注浆时注浆管应插至孔底 5~10cm 处，随砂浆的注入缓慢匀速拔出；注浆保证砂浆饱满，不得有里空外满的现象；注完浆后，立即插入锚杆，若孔口无砂浆溢出，及时补注砂浆；为保证锚杆的浆液保护层，宜在锚杆上安装塑料套垫块。

(5) 挂网：先将圆盘钢筋调直，按边坡形状尺寸取料加工，钢筋网的框架尺寸采用 2m×2m 的方框，框架内用镀锌铁丝网覆盖，框架与镀锌铁丝网要绑扎牢固；编好钢筋网框架后，与锚杆交接处进行焊接，以保证喷射混凝土时钢筋不晃动；钢筋网必须紧贴混凝土表面，以保证钢筋网保护层厚度。

(6) 养生：当最后一次喷射的混凝土终凝 2h 后，立即喷水养护；每天至少喷水四次，养护时间一般不得少于 7d；在终凝后第一次喷水养生时，压力不宜过大，以防止冲坏喷射混凝土防护层表面；气温低于 5℃ 时，不得喷水养护；在养生过程中如果发现剥落、外鼓、裂纹、局部潮湿、色泽不均等不良现象，应分析原因，采取措施进行修补。

5.4.4 工作坑周围建筑物的检测具体观测指标如下：

1 水平位移的点位中误差 $\leq \pm 6.0\text{mm}$ 。

2 测回数不小于两测回取中数，同一方向两测回相差小于 6"。

3 基准点距位移点的距离 $\leq 100\text{m}$ 。

4 建筑物基础沉降及位移布设以平面位置图为依据，具体点位的布设情况以现场勘

察布点为准；点位的布设原则为：

- (1) 以设计的平面位置图为参考。
- (2) 优先布设在大转角或柱基上。
- (3) 点位的布设应易于保存、观测且不影响施工建设。
- (4) 不影响建筑物功能使用和美观效果，采用钢筋材质，布设完毕之后在顶部涂上防锈漆。

5 沉降观测采用 II 等精度施测。根据观测点的分布情况，结合实地施工情况严格制定观测水准路线，并在以后的每一次观测中严格执行该路线；在每一次的沉降观测工作中，由其中一个基准点出发，采用后、前、前、后的读数方法，沿各观测点测量一遍附合至另一基准点或闭合回原基准点。根据三基准点的高差对观测数据进行严格平差，从而计算得出各观测点的高程，每次观测使用“单程双测”取两次观测值的平均值作为最后的高程值；通过计算前后两次的观测高程值，从而计算得该点的沉降量。

6 工作坑及建筑物的外业数据监测结束后，内业使用专业的测量平差软件进行计算，计算出各观测点的高程、沉降量、位移量并进行各项数据分析，比较该点的沉降及位移量的累计；并将观测数据报送业主及监理，以便指导施工或采取应急措施。

7 工作坑开挖每天观测 4 次；箱涵预制至竣工期间，每天观测 2 次；有险情及大雨应跟踪监测，根据工作坑及建筑物的稳定情况调整观测时间。

8 根据观测记录绘制时间位移曲线图，对观测结果进行分析。

6.3.2 脚手架计算

1 纵向、横向水平杆计算

(1) 计算纵向、横向水平杆的内力与挠度时，纵向水平杆宜按三跨连续梁计算，计算跨度取纵距 l_a ；横向水平杆宜按简支梁计算，计算跨度 L_0 ，单排架为墙中心至脚手杆中心；双排架横向水平杆为内外杆中心距，当其外伸长度 $a_1=500\text{mm}$ ；其计算外伸长度 a_1 可取 300mm 。

(2) 纵向、横向水平杆的抗弯强度

$$\sigma = M/W \leq f$$

其中： $M=1.2M_{GK}+1.4 \sum M_{QK}$ ；

式中： M —弯矩设计值；

M_{GK} —脚手板自重标准值产生的弯矩；

M_{QK} —施工荷载标准值产生的弯矩；

W—截面模量；

f—钢材的抗弯强度设计值。

(3) 纵向、横向水平杆的挠度

$$v \leq [v]$$

式中：v—挠度；

[v]—容许挠度。

(4) 纵向或横向水平杆与立杆连接时，其扣件的抗滑承载力

$$R \leq R_c$$

式中：R—纵向、横向水平杆传给立杆的竖向作用力设计值；

R_c—扣件抗滑承载力设计值。

2 立杆计算

(1) 立杆稳定性

不组合风荷载时：

$$N/\varphi A \leq f$$

其中：N=1.2(N_{G1K}+N_{G2K})+1.4ΣN_{QK}；

组合风荷载时：

$$N/\varphi A + M_w/W \leq f$$

其中：N=1.2(N_{G1K}+N_{G2K})+0.9×1.4ΣN_{QK}；

式中：N—计算立杆段的轴向力设计值；

φ—轴心受压杆件的稳定系数。

(2) 当脚手架搭设尺寸采用相同的步距、立杆纵距、立杆横距和连墙件间距时，应计算底层立杆段；当脚手架搭设尺寸中的步距、立杆纵距、立杆横距和连墙件间距有变化时，除计算底层立杆段外，还必须对出现最大步距或最大立杆纵距、立杆横距、连墙件间距等部位的立杆进行验算。

6.4.1 混凝土热工计算

1 水泥的水化热总量计算

$$Q_0 = 4 / (7/Q_7 - 3Q_3)$$

式中：Q₀—水泥的水化热总量 (kJ/kg)；

Q₇—龄期为 7d 时的水化热；

Q₃—龄期为 3d 时的水化热。

2 胶凝材料水化热总量

$$Q_c = k \times Q_0$$

式中： Q_c —胶凝材料水化热总量 (kJ/kg)；

k —不同掺量掺和料水化热调整系数。

3 不同掺和料水化热调整系数计算

$$k = k_1 + k_2 - 1$$

式中： k_1 —粉煤灰掺量对应的水化热调整系数；

k_2 —矿渣粉掺量对应的水化热调整系数。

4 混凝土的绝对温升值计算

$$T_{(t)} = m_c Q (1 - e^{-mt}) / (C \rho)$$

式中： $T_{(t)}$ —浇完一段时间 t ，混凝土的绝热温升值 (°C)；

m_c —每立方米混凝土水泥用量；

Q —每千克水泥水化热量, (kJ/kg)；

C —混凝土的比热；

ρ —混凝土的质量密度；

e —常数值，为 2.718；

t —龄期 (d)；

m —与水泥品种比表面、振捣时温度有关的经验系数。

7.2.4 后背

根据箱涵顶力与地质条件，可选用钢筋混凝土、钢桩各种形式的后背，顶进后背要有足够的强度、刚度和稳定性。后背应垂直于顶力轴线制作，偏差越小，顶力轴线越不易发生偏移，有利于顶进箱涵的方向控制和顶柱（铁）的稳定。后背的反力主要取决于后背填土高度，足够的填土高度可提供可靠的被动土压力，以保证箱涵的正常顶进。

7.3.10 顶进设备

1 箱涵顶力计算公式

$$P = K [N_1 f_1 + (N_1 + N_2) f_2 + 2E f_3 + RA]$$

式中： P —最大顶力 (kN)；

K —系数，一般取 1.2；

N_1 —箱涵顶上总荷重（包括线路加固荷载）(kN)；

f_1 —箱涵顶上表面与顶上荷重的摩阻系数；

- N_2 —箱涵自重 (kN);
- f_2 —箱涵底板与基底土的摩阻系数;
- E —箱涵两侧土压力 (kN);
- f_3 —侧面摩阻系数;
- R —刃角正面阻力 (kN/m^2);
- A —刃角正面面积 (m^2)。

2 由于千斤顶布置不尽对称,各千斤顶质量不尽相同,箱涵在滑板上空顶时,容易产生横向移动,为防止箱涵横移过大,在滑板两侧锚梁处设方向墩。方向墩的设置考虑箱涵施工支立模板距箱涵外侧 50~100mm,箱涵顶进时还要加设限位方木。对顶进顶力比较小的箱涵,设置方向墩能够起到较好的效果;对顶进顶力比较大的箱涵(如大部分箱涵的顶力达到 30000~50000kN 甚至达 100000kN 以上),设置方向墩作用不明显。大型液压泵站均设置了油路分流系统,能随时对左右顶力进行调整,因此可以取消方向墩的设置。

3 千斤顶的布置应根据顶力、箱涵宽度、自转扭矩经过计算确定,千斤顶所提供的最大顶力与泵站的油压相关,一般为 30MPa,乘以千斤顶的截面积可得出顶力,一般可按额定顶力的 60%~70%计算。在软弱地质条件下,前掌子面土体易塌方,第一节箱涵顶进设备的配备要充分考虑强行顶进时的储备顶力,可在塌方时迅速顶进,减小横梁工字钢悬空距离。

8.4.2 切割拆除

1 沿结构断面环形切割箱涵,根据目前所掌握的切割能力,绳锯每切割 1 m^2 断面所需要的时间约为 2h,箱涵顶进需要的慢行时间较长,但相对其它拆除方案对铁路行车安全较为有利;下图为某一工程箱涵拆除切割图,在铁路线路下方,切割间距为 1m,在线路两侧,可将间距适当加大。

2 施工顺序:

- (1) 在立墙、顶板上钻出绳锯穿绳孔。
- (2) 在线路加固期间,根据方案确定的切割间距和切角,将立墙切割成若干块,采用圆盘锯将底板切割(底板切割厚度约为板厚的 1/2)。
- (3) 在顶进期间,将顶板和八字墙跟随顶进进尺,同步进行切割。
- (4) 待立墙和顶板落地后进行破碎、清理,然后将底板破碎和清理。
- (5) 按照顶进→切割顶板、腋角后落地→破碎、清理→顶进,进行循环施工直至顶进就位。

