

# 顶管施工方案

## 1 顶管段工程概况

本工程雨水管道从 11#井至 12#井段要穿越阜石路，采用顶管施工，管材为钢筋混凝土双筋顶管用企口管  $D=2400\text{mm}$ ，全长  $L=80\text{m}$ ，埋深  $h=7.4\text{m}$ 。根据有关地质报告和施工经验，在标高 61.50 以下为砂卵石地层，本地段水位较深，不影响顶管施工。

## 2 布署

顶管分项工程是制约工期的重要环节，要确保顶管施工按期完工。施工时，在 11#、12#处设顶管工作坑两座，分别从两端向中间对顶。由于地质条件不良，工作坑采用网喷砼支护。

## 3 施工方法

顶管施工前进行力学计算(见附件 2：“顶管计算书”)，根据计算结果制定施工方案，按照工艺流程进行施工：

### 顶管施工工艺流程图

#### 3.1 本工程测量控制的主要依据

(1) 北京市\*\*工程设计研究总院

(2) 甲方交桩成果

(3) 北京市城市道路工程施工技术规程（DBJ01-45-2000）。

(4) 北京市市政工程局《市政工程施工手册》。

3.2 测量主要仪器

6" 经纬仪一套，用于顶管工作坑内井位轴线控制及地上已知点坐标复核测及测定井位。

S<sub>3</sub> 自动安平水准仪一套，用于已知控制点高程复测及顶进作业中高程控制测量

3.3 测量控制精度标准

测量误差应符合下表要求

项 目	允许偏差
水准高程闭合差	$\pm 12 \sqrt{L}$ （mm）
导线测量方位角闭合差	$\pm 40 \sqrt{n}$ （" ）
导线测量相对闭合差	1/3000
直接丈量测距两次较差	1/5000

3.4 管道顶进施工前的测量工作

(1) 对已知控制点进行复核测量

平面位置的复测：

对已知点的平面坐标复核一般用全站经纬仪进行测量。

对已知点的高程复测：

高程复测使用  $S_3$  自动安平水准仪，采用附和水准导线的测量方法复测，如导线闭合差不大于  $\pm 12 \sqrt{L}$  即可使用。

## (2) 管道施工用临时控制点的测定

由于已知控制点的位置所限，满足不了施工需要，所以要增加一定数量的临时控制点，以保证施工正常进行。临时控制点的平面坐标及高程测定方法同已知点复核测量相同。

## (3) 施工图上标定井位轴线实地测定

检查井位置的测定一般采用经纬仪导线法或极坐标法。根据已知坐标计算出井位与已知控制点的相关坐标方位角及水平距离，用经纬仪实地测出井位，为了保证测量精度，应对其测定的井位采用第二种方法进行复测。

# 3.5 管道顶管施工中的测量

## (1) 井位轴线及高程导入工作坑内

井位轴线的导入一般在工作坑内已做好轨道枕木基础后进行。根据井位轴线方向，在工作坑上口的轴线方向上适当的位置用经纬仪将地面上轴

线投测到工作坑内的混凝土墙及枕木上，不少于 3 点。这 3 点即作为管道在顶进中的轴线控制点。

工作坑内高程控制点导入采用水准仪导线或支点法，以附近已知水准点为依据，在工作坑上口处测设两点高程，然后用悬挂卷尺法将高程导入工作坑坑底已埋的钢筋，高程点导入不少于 2 点，以便复核测量。

## (2) 管道顶进中的轴线高程测量

首节管道测量要求，在第一节管道安放在轨道上后，在顶进前应对其中心线进行测量，测其是否与井位轴线一致。对首节管道内底端高程进行测量，管道前后高程应符合设计要求，在首节管的轴线高程无误后方可进行顶管作业。

首节管顶进施工中，每顶进 30cm 应对管道的轴线、管内底两端的高程进行复测一次。顶进长度在 60cm 以内可采用锤球拉线的方法进行测量，要求两锤球间距尽可能拉大，用水平尺测量头一节管前端的中心偏差。当管道顶进超过 60cm 后，也就是在常规作业时，一般每顶进 100cm 进行复测一次即可。复测过程中，按规定做好测量各项记录，作为施工人员在作业中纠偏依据，保证管道轴线位及高程符合设计要求。

## 3.6 施工测量注意事项

- (1) 在风力超过四级以上严禁进行地面测量施工。
- (2) 测量仪器专人专用，严禁非专业人员使用仪器。

- (3) 中心桩复核后及时设置中心控制桩，并砌砖保护，做明显标志。
- (4) 水准点复核后，设一临时水准点供施工作业用。
- (5) 水准仪、经纬仪校核后方可使用。测量仪器要定期校核，防止施工过程中使用时发生偏差。

## 4 挖工作坑

### 4.1 工作坑尺寸

工作坑尺寸及位置，根据规范要求和计算确定。

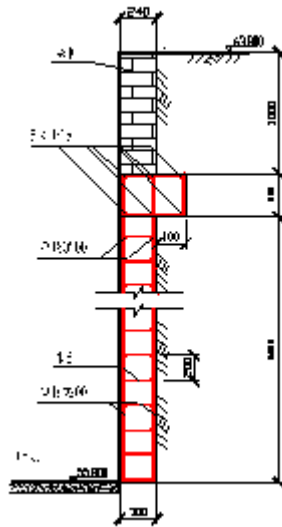
上口尺寸：6.5m×8m

下口尺寸：6m×7.5m

深度：7.6m

### 4.2 工作坑支护

- (1) 受力结构采用钢筋格栅，格栅主筋  $4 \times \Phi 18$ 、箍筋  $\Phi 6@200$ ，网片采用  $\Phi 6@100\text{mm}$ （双方），钢筋网片及钢筋格栅每隔 2m 用长 3m  $\Phi 18$  钢筋锚固，喷射混凝土采用  $C_{20}$ ，厚度 30cm。地表以下 1 米为砖砌支护并在砖墙与网喷混凝土分段处施作冠梁，截面尺寸  $400 \times 400\text{mm}$ 、主筋  $4 \times \Phi 18$ 、箍筋  $\Phi 6@200$ ，整体支护结构采用逆作法，分步用机械开挖，每步 1m，竖向主筋取 1~3m，锚入土层 0.3m 作预留筋与下步主筋搭接。（见下图）



顶管工作坑喷射混凝土支护图

## 5 平台安装

### 5.1 平台支搭

在中线两侧 1.8m、2.4m 处各设一根 56 号工字钢，每根长 12m。四根工字钢作为平台的受力简支主梁结构，纵向间距 5.5m 设置横向连接梁两根，采用 25 号工字钢，并与主梁焊接牢固。

搭设前将工作坑四周场地平整后，在工作坑南北两端距坑边 0.3m 处铺两排 2.2m 长 15cm×15cm 方木 10 根作垫木使用，方木扒锯扒牢，用吊车将主梁吊至方木上，立稳支牢，待全部主钢梁就位后立即用两根 10m 横梁横向将主梁联接，所有焊缝要满焊，防止主钢梁因受冲击时倾覆。

待主钢梁联接焊完后，上铺长 6m、15cm×15cm 方木，坑口尺寸为 3.5m×4.5m，所有方木铺平挤严后，用扒锯全部扒牢并在坑口处设活动平台。

## 5.2 立顶管架

顶管工程下管，出土所用的工作支架由四根  $\phi 159\text{mm}$ ，壁厚  $12\text{mm}$  钢管 组成，每根钢管长度  $L=8.8\text{m}$ ，顶部用  $60\sim 70\text{mm}$  圆钢连接，两端锁紧。工作支架底部由人工配合将四个支点位置找准确后立即在四脚外侧焊防滑挡托，在顶管工的指挥下，上横向拉杆。横向拉杆要齐全，安装要平且保证拉杆能充分拉紧。拉杆上齐后，卷扬机就位。

## 5.3 导轨安装

导轨采用卵石为基础，基底为  $4\text{m}\times 6\text{m}$ 。基础上铺  $3\text{m}$  长  $150\text{mm}\times 150\text{mm}$  方木，间距  $40\text{cm}$ ，并用粗砂填缝。方木上铺导轨，导轨采用  $30\text{Kg/m}$  钢轨，长度不小于  $6\text{m}$ ，要求光滑直顺。导轨安装中的偏差为  $1.0\text{mm}$ ，采用道钉固定在枕木上。导轨深入工作坑壁  $50\text{cm}$ ，以保证管子顺序连接。导轨宽度为  $994\text{mm}$ 。

## 5.4 后背安装

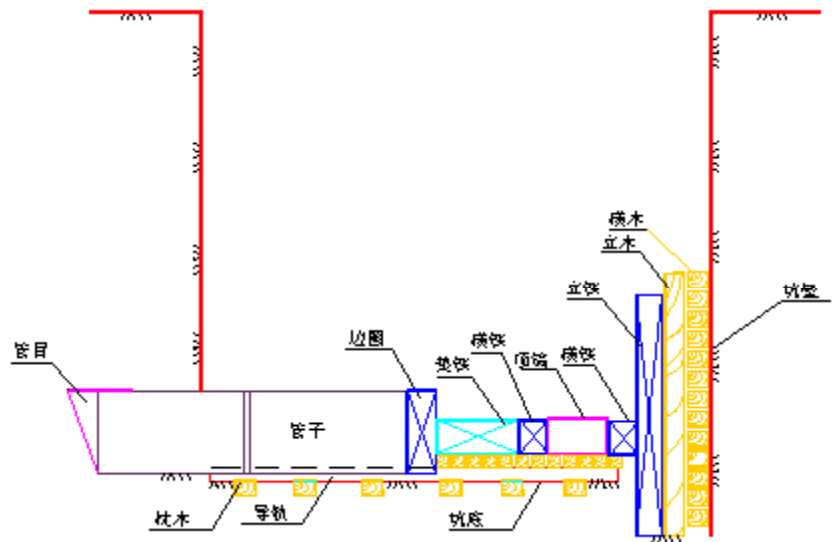
后背尺寸如下：

宽度：  $3\text{m}$

高度：  $2.3\text{m}$

采用长  $5\text{m}$ 、断面  $15\text{cm}\times 15\text{cm}$  方木密排，高度为  $2.5\text{m}$ ，尽量贴紧墙壁，后背平面要求垂直于管道中心线，如有空隙用砂石填充严密，方木前如

设 2cm 厚钢板，再埋设 3 根立铁，间距 1.2m，立铁前端码放横铁。立铁与横铁均采用 25 号工字钢对焊而成。横铁要求码平整，顶镐后座与横铁结合处严密，以便均匀地将顶力传到后背上。顶力设备为 2 台 320t 油压千斤顶，行程  $L=700\text{mm}$ 。顶管设备见下图



顶管设备安装示意图

### 5.5 护铁及顶铁

由于一次顶进长度较小，故选用圆形钢护铁，确保管体安全，保护管子端面，使端面传力均匀，顶铁条用 U 形顶铁。

## 6 触变泥浆减阻

管道顶进 20m 后在管壁与土壁的缝隙间注入触变泥浆，形成泥浆套减阻。触变泥浆从前向后依次加入，顶进一段距离后及时进行补浆。为了使膨



润土充分分散，泥浆拌合后停滞时间在 12h 以上。管道顶进时向管外压注触变泥浆，降低管道磨阻力。根据经验，采用触变泥浆减阻。

(1) 应用触变泥浆的设备

泥浆封闭设备：包括前封闭管（前端刃脚工具管设封闭环）及后封闭圈，主要作用是防止泥浆从管端流出。

调浆设备：包括拌合机及储浆罐等。

灌浆设备：包括泥浆泵、输浆管、分浆罐及喷浆管。

(2) 触变泥浆的材料

触变泥浆的主要成分是膨润土，掺入碱（碳酸钠）和水配制而成。

触变泥浆配制：膨润土运到现场后分批测试膨润土的胶质价，然后按比例配制泥浆（重量比）。

膨润土的胶质价	膨润土	水	碱（碳酸钠）
60~70	100	524	2~3
70~80	100	524	1.5~2
80~90	100	614	2~3
90~100	100	614	1.5~2

(3) 触变泥浆一般拌合程序

将定量的水放入搅拌罐内，并取其中一部分水溶化碱。在搅拌过程中，将定量的膨润土徐徐加入搅拌罐内，搅拌均匀。将溶化的碱水倒入罐内（碱水必须在膨润土搅拌均匀后加入），再搅拌均匀，放置 12h 后即可使用。

#### (4) 注浆设备及注浆压力

注浆设备采用 1-1B 泥浆泵。注浆前先通过注水检查注浆设备，确认设备正常后方可灌注，压力控制在 0.2Mpa 左右，在灌注过程中按实际情况调整注浆压力，防止泥浆短路外溢，随着顶进不断进行注浆，并观察后背顶镐的顶力变化。

### 7 水泥、粉煤灰浆补浆

管道顶进施工完成后，使用高压注浆泵向管外注入水泥、粉煤灰浆液填充顶管超挖空隙，最大限度减少地面沉降。补浆时由后向前交错压入水泥、粉煤灰浆液。

## 8 管道顶进

### 8.1 下管就位

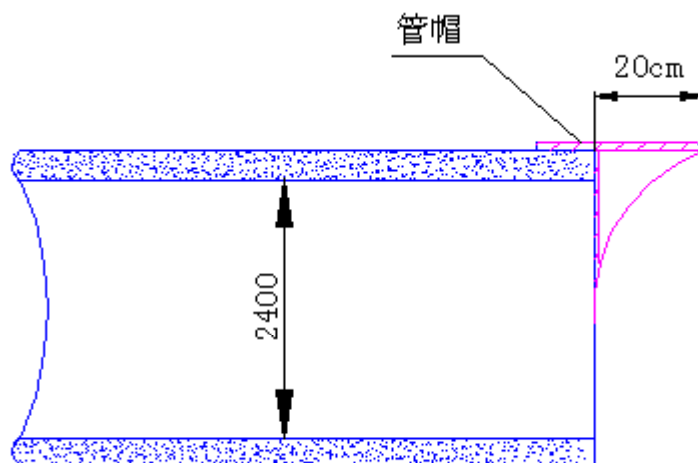
(1) 检查砼管：顶管所用砼管应无破损及纵向裂缝，端面要平直、管壁无坑陷及鼓包，管壁应光洁，检查合格的管子方可用起重设备吊到工作坑的导轨上就位。

- (2) 检查起重设备：起重设备经检查、试吊，确认安全可靠方可下管。下管时工作坑内严禁站人。当距导轨小于 50cm，操作人员方可进前工作。吊运时应用专用吊钩或柔性吊锁，严禁用钢丝绳穿入管内起吊。
- (3) 管子就位：第一节管子下到导轨上，测量管子中心及前端和后端的管底高程，确认安装合格后方可顶进。第一节管作为工具管，顶进方向与高程的准确，是保证整段顶管质量的关键。经监理工程师验收合格后方可进行下一步工序。

## 8.2 管前挖土与顶进

管前挖土是控制管节顶进方向和高程，减少偏差的重要作业，是保证顶管质量及管上构筑物安全的关键。顶进时要注意以下事项：

- (1) 管前挖土长度：本工程土质不良，为防止塌方，管端挖土长度应在 10cm 以下。
- (2) 关于管子周围超挖：本工程顶管段位于阜石路下，管子周围一律不得超挖，一定保持管壁与土基表面吻合。见下图



顶管、带帽示意图

(3) 安装管帽：由于土层松散，为了防止坍落，保证安全和便于挖土操作，在首节管前端要装管帽，帽檐伸入土长度为 0.2m，见下图。

(4) 开始顶进时，应缓慢进行，待各接触面部位密合后再按正常速度顶进，顶进施工应连续顶进。顶进测量在首管顶进时测量间隔不应超过 30cm，正常顶进时测量间隔不应超过 1m。在测量过程中发现偏差应进行纠偏工作。顶进的砼管在接口时一定要保证严密。

(5) 顶进时昼夜两班不间断施工，防止因中途停置而导致磨擦力增加，造成顶进困难，同时保证工程工期，不影响工程总体部署。

(6) 认真填写顶进施工记录是提高顶进质量的首要保证，交接班时的负责人必须向接班负责人交清记录，并说明在顶进操作中出现的問題及处理情况。

(7) 对于影响顶进质量与安全问题的隐患必须及时处理，减少停滞时间。

对于不得不停下来研究解决的问题要尽快制定出对策，抓紧处理，恢复顶进。

(8) 在纠偏顶进过程中，应采取分段校验，每顶进 10~20m 宜全面检验一次施工质量，解决存在问题。

(9) 提高施工和操作人员的素质，加强顶进施工的动态管理，是保证顶进施工质量的关键。

(10) 顶进过程中出现中心偏差或高程偏差及有偏差趋势应及时纠偏

纠偏用千斤顶及人工配合，纠偏时每顶进 20~30cm 测量一次，注意第一节管子的走向趋势，来防纠偏过急。

为防止顶管中砼管错口，顶进的前三节管中，在接口处应安装内胀圈，使胀圈与管壁胀紧成为一个刚体。

(11) 本工程为对顶施工，在顶至两端相距约 100cm 时，可以从两端中心掏挖小洞，使两端通视，以便校核两管中心线和高程，使两管准确对口。

## 顶 管 计 算 书

### 1 顶管的顶力计算

本工程土质为砂卵石层，设计图纸管线全长 80m，最大顶进距离为 40m。

计算公式根据《北京市给水排水管道工程施工技术规程（DBJ 01-47-2000）》11.1.7 条如下：

$$\text{公式： } P = \gamma D_1 [2H + (2H + D_1) \tan^2(45^\circ - \varphi/2) + w/\gamma D_1] L + P_F$$

式中：

P 棗计算的总顶力（KN）；

$\gamma$  棗管道所处土层的重力密度（KN/m<sup>3</sup>）；

$D_1$  棗管道的外径（m）；

H 棗管道顶部以上覆盖土层的厚度（m）；

$\varphi$  棗管道所处土层的内摩擦角（°）；

W 棗管道单位长度的自重（KN/m）；

L 棗管道的计算顶进长度（m）；

$\mu$  棗顶进时，管道表面与其周围土层之间的摩擦系数；

$P_F$  棗顶进时迎面阻力（KN）；

根据有关规格实地调查以上各参数取值如下：

$$\gamma = 20 \text{KN/m}^3 ; \quad D_1 = 2400 + 240 \times 2 = 2.88 \text{m} ; \quad H = 4.72 \text{m} ; \quad \varphi = 30^\circ ;$$

$$W = 50 \text{KN/m} ; \quad \mu = 0.15 ; \quad (\text{采用有效减阻措施})$$

$$\text{公式： } P_F = \pi D_{av} t R$$

式中：

$D_{av}$  棗工具管刃脚或挤压喇叭口的平均直径（mm）；

t 棗 工具管刃脚厚（m）（加幅厚度取 0.05m）；

R 棗手工掘进顶管法的工具管迎面阻力；

$$D_{av} = (D_{\text{外}} + D_{\text{内}}) / 2 = (2.88 + 2.4) / 2 = 2.64 \text{m}$$

$$t = 0.05 \text{m} \quad R = 500 \text{KN/m}^2$$

$$P_F = \pi D_{av} t R$$

$$= \pi \times 2.64 \times 0.05 \times 500 = 207.24 \text{KN/m}^2$$

$$\text{故: } P = \gamma D_1 [2H + (2H + D_1) \tan^2(45^\circ - \phi/2) + w/\gamma D_1] L + P_F$$

$$= 5189.064 \text{KN}$$

根据以上计算最大顶力为 5189.064KN，施工时一座工程坑最多采用 320T 顶镐 2 台。

## 2 后背宽度

根据需要的总顶力，使土壁单位宽度上受力不大于土壤的总被动土压力，从而确定后背宽度。计算公式根据《北京市给水排水管道工程施工技术规程（DBJ 01-47-2000）》11.1.9.2 条如下：

后背每米宽度上的总被动土压力可按下式：

$$P_b = 1/2 \gamma h^2 \tan^2(45^\circ + \phi/2) + 2C \tan(45^\circ + \phi/2)$$

式中：

$\gamma$  土的重度（KN/m<sup>3</sup>）；

$h$  土壁后背的高度（m）；

$\phi$  土的内摩擦角（°）；

$C$  土的粘聚力（KN/m<sup>3</sup>）；

其中：

$$\gamma = 20 \text{KN/m}^3 ; \quad h = 7.4 \text{m}; \quad \phi = 40^\circ ;$$

$C = 0$ （土质为粗砂砾石）；

$$P_b = 1/2 \times 20 \times 7.4^2 \times \tan^2(45^\circ + 40^\circ / 2)$$

$$= 547.6 \times \tan^2 65^\circ$$

$$= 2518.36 \text{KN/m}$$

$$B = P/P_b$$

$$= 4991.9 / 2518.36$$

$$= 1.98 \text{m}$$

考虑到安全系数及减小后背高度，后背宽度取 3m。

### 3 后背高度计算

计算公式根据《北京市给水排水管道工程施工技术规程（DBJ 01-47-2000）》11.1.9.3 如下：

$$L = \sqrt{\frac{P}{B}} + L_a$$

式中：

L 棗后背总长（m）；

P 棗顶管需要的总顶力（KN）；

B 棗后背受力宽度（mm）；

L<sub>a</sub> 棗附加安全长度（m）；

其中：

P=9790.77KN； B=3m； L<sub>a</sub>=1m；

计算得出： L=2.29m；

近似取长度： L=2.3m；

由 2.2 及 2.3 得顶管后背尺寸 L×B=3m×2.3m

### 4 工作坑尺寸计算

计算公式根据《北京市给水排水管道工程施工技术规程（DBJ 01-47-2000）》11.2.4 如下：

底宽=D<sub>1</sub>+S；

底长=L<sub>1</sub>+L<sub>2</sub>+L<sub>3</sub>+L<sub>4</sub>+L<sub>5</sub>；

式中：

S 棗操作宽度（m），取 2.4-3.2m；

D<sub>1</sub> 棗管外径（m）；



$L_1$  橐管子顶进后，尾部压在导轨上的最小长度（m）；

$L_2$  橐管节长度（m）；

$L_3$  橐出土工作间长度，根据出土工具而定，宜为 1.0-1.8m；

$L_4$  橐液压油缸长度（m）；

$L_5$  橐后背所占工作坑长度，包括横木、立铁、横铁（m）；

其根据有关规格实地调查以上各参数取值如下：

$S=2.5\text{m}$ ；  $D_1=2.84\text{m}$ ；  $L_1=0.5\text{m}$ ；  $L_2=3\text{m}$ ；

$L_3=1.8\text{m}$ ；  $L_4=1.2\text{m}$ ；  $L_5=0.80\text{m}$ ；

工作坑坑底尺寸：

底宽= $2.5+2.84=5.34\text{m}$ ；

底长= $0.5+3+1.8+1.2+0.80=7.3\text{ m}$ ；

考虑到施工中会遇到某些因素，所以工作坑坑底尺寸应适当放大，故取底宽=6m，底长=7.5m。

工作坑深度：根据设计管底标高及现场地面高程并考虑到导轨基础垫木的厚度，故得： $H_1=7.6\text{m}$

## 5 导轨内距计算

计算公式根据《北京市给水排水管道工程施工技术 DBJ 01-47-2000》11.3.3.4 如下：

$$A=2\sqrt{[D_1-(h-e)](h-e)}$$

式中：

A 橐两导轨内矩（mm）；

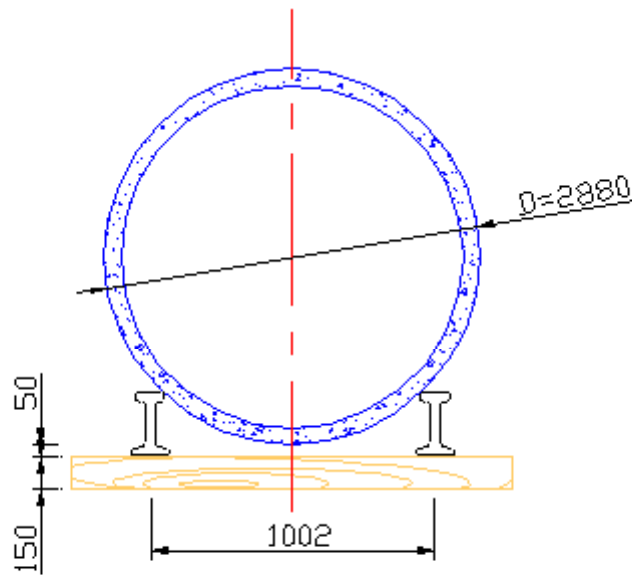
$D_1$  橐管外径（mm）；

h 橐导轨高（mm）；

e 橐管外底距枕铁（枕木）面的距离（mm）；

其中：

$D_1=2880\text{mm}$ ;  $h=140\text{mm}$ ;  $e=50\text{mm}$ ;



轨道间距图

代入数据计算得：

$$\begin{aligned} A &= 2\sqrt{[D_1 - (h - e)](h - e)} \\ &= 2\sqrt{[2880 - (140 - 50)](140 - 50)} \\ &= 1002\text{mm} \end{aligned}$$

经计算导轨内距 取 1002mm