

基坑降水施工组织方案及技术保障措施

1 基坑降水分析

本工程降水分为坑内开挖范围内疏干性降水和深层承压含水层减压降水。针对这两类降水分别进行降水设计和现场施工运行。

1.1 含水层降水风险分析

根据工程场地工程地质条件与水文地质条件分析，可能引发本工程施工风险的主要含水层如下：

分布于基坑开挖面底部的④ 2 粉土微承压水含水层是本工程疏干降水的重点和难点，该层渗透性较强（弱透水），易引发流土、管涌等渗透变形，影响基坑施工及安全。主体基坑开挖面地层位于该层，开挖过程中对该层前期应进行疏干处理。开挖至底部时若有降水不足、降水井破坏、基坑围护有渗漏、强降雨等发生时，坑底易发生滞水等情况，妨碍垫层、底板施工进度，可采用轻型井点进行强降水处置措施进行应急处置。

深层第⑦2 粉土承压含水层对工程施工有影响，易引起坑底隆起、基坑突涌等风险，需在基坑开挖后期对其进行降压处置措施。

1.2 降水目的和要求

1、根据本工程的基坑开挖和基础底板结构施工要求，其降水目的为：

- (1) 疏干基坑开挖范围内土体中的地下水，方便挖掘机和工人在坑内施工作业；
- (2) 降低坑内土体含水量，提高坑内土体强度，减少坑底隆起和围护结构的变形量，防止坑外地表过量沉降；
- (3) 提高开挖过程中土体稳定性，防止土层纵向滑坡；
- (4) 及时降低下部承压含水层的承压水水头高度，防止基坑底部突涌的发生，确保施工时基坑底板的稳定性。

2、具体的降水要求：

- (1) 降低基坑范围内地下水水位至基坑开挖底面以下0.5~1.0m；
- (2) 降低基坑开挖影响范围内承压水水位至安全水位以下。
- (3) 根据基坑突涌可能性计算，进行减压性降水，在满足工程减压要求前提下，尽量减少由于降压降水引起的地表沉降以及降水对周边建筑物的不利影响。

1.3 基坑突涌的可能性评价

在评价其对基坑工程的影响时，宜根据其动态规律，按最不利原则考虑。当前，基坑突涌可能性计算多采用安全系数法：当基坑底板至承压含水层顶板间的土压力应大于或等于安全系数下承压水的顶托力，则基坑是稳定的，否则便有突涌的可能。

计算公示为：
$$\frac{P_{CZ}}{P_{wy}} = \frac{(H \cdot \gamma_s)}{(\gamma_w \cdot h)} \geq F_s$$

式中：

P_{CZ} — 基坑底至承压含水层顶板间土压力（kPa）；

P_{wy} — 承压水头高度至承压含水层顶板间的水压力（kPa）；

H — 基坑底至承压含水层顶板间距离（m）；

h — 承压水水头高度至承压含水层顶板距离（m）；

γ_s — 基坑底至承压含水层顶板间土的平均重度（kN/m³）；

γ_w — 水的重度（kN/m³），取 10kN/m³；

F_s — 安全系数，取国家标准安全系数 1.10；

根据勘察资料，拟建场区承压水含水层由晚更新统沉积成因的土层组成，主要为⑦₂ 粉土或粉砂层，因此，对本工程影响较大的主要为⑦₂ 粉土或粉砂层承压含水层，含水层最浅处水位埋深 33.0m。按不利原则计算，承压水水头埋深为 3.0m，上覆土层重度取平均 19.4kN/m³。

1、突涌可能性计算：

（1） 基坑标准段开挖深度按 17.15m 计算

$$P_{CZ} = (33.0 - 17.15) \times 19.4 = 307.5 \text{ kPa}, \quad P_{wy} = (33.0 - 3.0) \times 10.0 = 300.0 \text{ kPa},$$

$$F_s = P_{CZ} / P_{wy} = 1.02 < 1.10 \quad \text{突涌；}$$

（2） 基坑北端头井、南端头井处开挖深度分别按 18.95m、19.94m 计算南端头

$$P_{CZ} = (33.0 - 19.94) \times 19.4 = 253.4 \text{ kPa},$$

$$P_{wy} = (33.0 - 3.0) \times 10.0 = 300.0 \text{ kPa},$$

$$FS = P_{CZ} / P_{wy} = 0.84 < 1.10 \quad \text{突涌。}$$

北端头

$$P_{CZ} = (33.0 - 18.95) \times 19.4 = 272.6 \text{ kPa} \quad P_{wy} = (33.0 - 3.0) \times 10.0 = 300.0 \text{ kPa},$$

$$FS = P_{CZ} / P_{wy} = 0.91 < 1.10 \quad \text{突涌。}$$

(3) 基坑换乘站开挖深度 24.1m 计算

$$P_{CZ} = (33.0 - 24.1) \times 19.4 = 172.7 \text{ kPa}, \quad P_{wy} = (33.0 - 3.0) \times 10.0 = 300.0 \text{ kPa},$$

$$FS = P_{CZ} / P_{wy} = 0.57 < 1.10 \quad \text{突涌。}$$

因含水层未被围护结构完全隔断，需要对基坑布设承压井。

$$\text{本工程基坑安全开挖深度：} H_{\text{安全}} = h - P_{wy} / \gamma_s = 33 - 300.0 \times 1.10 \div 19.4 = 16.0 \text{ m};$$

2、安全水位及水位最小安全降深计算如下：

(1) 对于基坑标准段

$$\text{安全水位埋深：} H_w = 33 - P_{CZ} / (1.10 \gamma_w) = 5.0 \text{ m};$$

$$\text{安全水位标高：} H_{w\text{标}} = 2.7 - H_w = -2.3 \text{ m};$$

$$\text{最小安全降深：} h_w = H_w - 3.0 = 2.0 \text{ m}。$$

(2) 对于南端头井：

$$\text{安全水位埋深：} H_w = 33 - P_{CZ} / (1.10 \gamma_w) = 9.9 \text{ m};$$

$$\text{安全水位标高：} H_{w\text{标}} = 2.7 - H_w = -7.2 \text{ m};$$

$$\text{最小安全降深：} h_w = H_w - 3.0 = 6.9 \text{ m}。$$

(3) 对于北端头井：

$$\text{安全水位埋深：} H_w = 33 - P_{CZ} / (1.10 \gamma_w) = 8.2 \text{ m};$$

$$\text{安全水位标高：} H_{w\text{标}} = 2.7 - H_w = -5.5 \text{ m};$$

$$\text{最小安全降深：} h_w = H_w - 3.0 = 5.2 \text{ m}$$

(4) 对于换乘站：

$$\text{安全水位埋深：} H_w = 33 - P_{CZ} / (1.10 \gamma_w) = 17.3 \text{ m};$$

$$\text{安全水位标高：} H_{w\text{标}} = 2.7 - H_w = -14.6 \text{ m};$$

$$\text{最小安全降深：} h_w = H_w - 3.0 = 14.3 \text{ m}$$

综合上述，对于第⑦2层会产生突涌，在开挖到临界深度后需启动降压措施，及时降低承压水水头。

2 基坑疏干降水设计

2.1 疏干井的布置原则

疏干井的布置，原则上按苏州地区单井有效降水面积的经验值结合拟建工程场区土层特征、基坑平面形状、尺寸确定，满足基坑开挖及施工要求，确保基坑施工安全、顺利进行。

由于场区内微承压水含水层（④2 粉砂或粉土层微承压水）处于基坑开挖深度范围内，且围护结构已割断其基坑内外的水力联系，因此，仅需对其进行疏干处理即可。

疏干性降水的前提是基坑围护结构隔断基坑内外的水力联系，在此条件下，根据地区降水施工经验，单井有效降水面积为 $150\text{m}^2\sim 250\text{m}^2$ ，根据本工程开挖深度区域特点，结合基坑总涌水量计算，在开挖深度范围内，取约 $200\text{m}^2/\text{口}$ ，且相邻两口井之间距离在 $12\sim 20\text{m}$ 之间，一般可满足疏干性降水要求。

根据以上原则，为达到更好的降水效果，拟采用真空深井井点法。

2.2 疏干井的布置

为确保基坑顺利开挖，需降低基坑开挖深度范围内的土体含水量。

按照上述原则，采用下式计算确定：

$$n=A/a$$

式中：

n ——井数（口）； A ——
一基坑面积（ m^2 ）； a ——单
井有效降水面积（ m^2 ）。

按上式计算，开挖区域的布井数量如下（见附图 1）：

本工程主体基坑被中隔墙分为 6 个区域，从左至右编号为 1 区～6 区，详见平面布置图。

第 1 区开挖面积为 1253m^2 ，疏干井数量 $n=1253/200\approx 6$ 口。根据以上计算并结合基坑形状及土层特点，本区域布置疏干井 7 口，编号 S1～S7。端头井井深 24m，一般井深 22m，各井深度及滤水管位置详见附图 1、2。

第 2 区开挖面积为 1104m^2 ，疏干井数量 $n=1104/200\approx 6$ 口。根据以上计算

并结合基坑形状及土层特点，本区域布置疏干井6口，编号S8～S13，设计井深22m。

第3区开挖面积为1142m²，疏干井数量 $n=1142/200\approx 6$ 口。根据以上计算并结合基坑形状及土层特点，本区域布置疏干井6口，编号S14～S19，本区域为换乘区段，设计井深28m。

第4区开挖面积为2440m²，疏干井数量 $n=2440/200\approx 12$ 口。根据以上计算并结合基坑形状及土层特点，本区域布置疏干井12口，编号S20～S31，设计井深22m。

第5区开挖面积为4032m²，疏干井数量 $n=4032/200\approx 20$ 口。根据以上计算并结合基坑形状及土层特点，本区域布置疏干井20口，编号S32～S51，设计井深22m。

第6区开挖面积为363m²，疏干井数量 $n=363/200\approx 2$ 口。根据以上计算并结合基坑形状及土层特点，本区域布置疏干井2口，编号S52～S53，设计井深24m。

2.3 主体基坑总涌水量计算

根据工程实际情况，基坑围护结构隔断基坑内外潜水的水力联系，基坑开挖深度范围内总涌水量可按下式计算：

$$\text{计算式： } W = \mu \times V = \mu \times A \times M$$

式中：W—应抽出的水体积（m³）

V—含水层体积（m³），V=基坑面积 A×疏干含水层厚度 M；

A—基坑面积（m²）；

M—疏干含水层厚度（m）；

—含水层给水度（粉土给水度经验值为0.08～0.15，粘性土给水度经验值为0.01～0.05）。

根据此计算式对1区基坑进行总疏干水量计算如下：

基坑平均开挖深度取17.2m，初始潜水位埋深取1.0m。基坑的开挖面积1253m²。疏干范围内各土层厚度①3层平均厚度2.4m，③1平均厚度3.1m，③2平均厚度4.3m，④1平均厚度6.1m，④2平均厚度0.8m。

由此计算基坑需疏干的总水量为：

$$W_1=0.03\times1253\times3.1=116.5\text{m}^3。$$

$$W_{A2}=0.03\times1253\times4.3=161.6\text{m}^3$$

$$W_{A3}=0.04\times1253\times6.1=305.7\text{m}^3$$

$$W_{A4}=0.12\times1253\times0.8=120.3\text{m}^3$$

$$W_{A\text{总}}=W_1+W_{A2}+W_{A3}+W_{A4}=704.1\text{m}^3。$$

2.4 预降水天数计算

由于该基坑围护结构隔断潜水含水层基坑内外地下水水力联系，抽水量随抽水时间延续每日逐渐减少，根据场区含水层岩性、厚度并结合类似工程经验，预估抽水工期。

1、日抽水量计算

根据长期的降水经验，结合本次降水井井结构、地层情况，对于本工程基坑初始降水时最大单井涌水量约为 6.0～10.0m³/d，抽水量随抽水天数增加逐渐减小，平均日单井涌水量约 5.0m³/d。

则主体结构基坑单日总出水量分别为：

$$Q_A=5.0\times7=35.0\text{m}^3/\text{d}；$$

2、抽水天数计算

抽水天数 T= 基坑总储水量 W ÷单日出水量 Q，则各基坑抽水天数分别计算如下：

$$T_A=W_A/Q_A=704.1/35.0\approx20\text{d}；$$

3、从以上估算结果可知：仅考虑基坑内原有地下水疏干时，疏干性降水井全部抽水约 20 天后就能将基坑内的潜水疏干，满足基坑的干挖土施工的要求，在开挖期间继续降水，进一步提高土层的疏干效果。

同理，其它区域基坑开挖范围内疏干性降水井全部抽水约 20 天后就能将基坑内的潜水疏干，满足基坑的干挖土施工的要求，在开挖期间继续降水，进一步提高土层的疏干效果。

2.5 降水井深度和数量统计

依据上面的井数计算，在本工程基坑内共布置疏干井 53 口，详见下表5.2-1。

表 5.2-1 疏干井布置数量统计表

基坑	类型	井深（m）	数量（口）	井编号
主体基坑	疏干井	24.0	4	S1～S2，

				S52~S53
	疏干井	22.0	43	S3~S13、 S20~S51
	疏干井	28.0	6	S14~S19

1 减压井降水设计

1.1 承压水减压井的布置原则

- (1) 减压井间距、深度、孔径依据拟建工程场区水文地质条件、基坑总涌水量、单井降水能力并结合工程经验确定；
- (2) 减压井尽可能布置在不影响基坑开挖施工的位置；
- (3) 减压井的布置应尽可能减小降水对周围环境的影响。

1.2 减压井布置方案

根据勘察报告，工程场地范围内承压含水层水量较大，在保证基坑安全的同时，还要尽量使降水方案科学、经济、合理。本工程主体围护结构设计资料，采用800mm-1000mm地下连续墙围护，围护结构插入深度为32-51m，换乘段已隔断第⑦2层承压含水层基坑内外的水力联系。主体基坑未隔断⑦2层承压含水层

根据地质资料及工程特点，采用井点降水降低承压含水层水头高度，防止基坑突涌，保证基坑稳定性。考虑到降压性降水对周边环境的影响，承压水降压井宜布置在基坑内侧。

1、第 1 区域减压降水

地下连续墙未隔断基坑内外该承压含水层水力联系，基坑总涌水量按均质含水层承压水完整井涌水量公式计算：

$$Q=2.73k \frac{Ms_w}{\lg \frac{R_0+r_0}{r_0}}$$

式中：

Q —基坑总涌水量(m^3/d)；

k —含水层渗透系数(m/d)；

s_w —基坑水位最小安全降深(m)；

M —承压含水层厚度(m)；

R_0 —抽水影响半径(m)；

r_0 —基坑等效半径(m)。

根据勘察报告，⑦2 粉土层承压含水层厚度约为 10m。据勘察成果，取平均渗透系数 $k = 2.0 \text{ m/d}$ 。为保证端头井基坑安全，最小安全降深取 $S_w = 6.9\text{m}$ 。抽水影响半径取 $R_0 = 200.0\text{m}$ ，基坑等效半径 $r_0 = \eta \times (a + b) / 4 = 23\text{m}$ 。

$$\text{对于一期基坑, } Q = 2.73 \times 2.0 \times \frac{10 \times 6.9}{\lg \frac{200 + 23}{23}} = 384 \text{ m}^3 / \text{d}$$

勘察资料提供的渗透系数及该区域工程经验，该承压含水层单井涌水量在 $q = 200.0 \sim 500.0 \text{ m}^3/\text{d}$ ，故本次计算取单井涌水量 $q = 300.0 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

按式 $n = 1.1 \times Q \div q$ ，计算一期基坑需要的降压井数量：

$$n = 1.1 \times Q \div q = 1.1 \times 384 \div 300.0 \approx 1.4 \text{ 口}。$$

根据以上计算，基坑内布置 2 口减压井和 1 口观测兼备用井，其中端头布置 1 口降压井、标准段布置 1 口降压井，在端头井附近各布置 1 口观测兼备用井。

根据⑦2 粉土层埋藏深度及厚度，设计减压井深度为 45.0 m ，过滤器位置为 $35.0 \sim 44.0 \text{ m}$ ，编号 H1～H2、HG1。具体平面位置见附图 1，井结构详见附图 2。

2、第 2 区域减压降水

地下连续墙未隔断基坑内外该承压含水层水力联系，基坑总涌水量按均质含水层承压水完整井涌水量公式计算。

为保证端头井基坑安全，最小安全降深取 $S_w = 2.0\text{m}$ ，基坑等效半径 $r_0 = \eta \times (a + b) / 4 = 20\text{m}$ 。

$$\text{对于一期基坑, } Q = 2.73 \times 2.0 \times \frac{10 \times 2.0}{\lg \frac{200 + 20}{20}} = 105 \text{ m}^3 / \text{d}$$

勘察资料提供的渗透系数及该区域工程经验，该承压含水层单井涌水量在 $q = 200.0 \sim 500.0 \text{ m}^3/\text{d}$ ，故本次计算取单井涌水量 $q = 300.0 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

按式 $n = 1.1 \times Q \div q$ ，计算一期基坑需要的降压井数量：

$$n=1.1 \times Q \div q = 1.1 \times 105 \div 300.0 \approx 1 \text{ 口}。$$

根据以上计算，基坑内布置 1 口减压井和 1 口观测兼备用井，根据⑦2 粉土层埋藏深度及厚度，设计减压井深度为 45.0 m，过滤器位置为 35.0~44.0 m，编号 H3、HG2。具体平面位置见附图 1，井结构详见附图 2。

3、第 3 区域换乘段减压降水

根据地质勘察报告，第⑦2 层承压含水层被地下连续墙隔断承压含水层基坑内外水力联系，按基坑开挖面积进行布置降压井，根据同类工程经验，一般单井控制面积 400~800 m²，此取单井控制面积按 600m² 计算，基坑总涌水量按下式计算：

$$n=A/a$$

按上式计算，开挖区域的布井数量如下：

换乘段第⑦2 层承压含水层区域的开挖面积约 1142 m²， $n=1142/600 \approx 2$ 口，由于围护结构已将该承压含水层基坑内外水力联系隔断，故换乘段基坑内布置 2 口减压井和 1 口观测兼备用井，根据⑦2 粉土层埋藏深度及厚度，设计减压井深度为 45.0 m，过滤器位置为 35.0~44.0 m，编号 H4、H5、HG3。

4、第 4 区域减压降水

地下连续墙未隔断基坑内外该承压含水层水力联系，基坑总涌水量按均质含水层承压水完整井涌水量公式计算。

为保证端头井基坑安全，最小安全降深取 $S_w=2.0m$ ，基坑等效半径 $r_0 = \eta \times (a + b) / 4 = 38m$ 。

$$\text{对于一期基坑, } Q = 2.73 \times 2.0 \times \frac{10 \times 2.0}{\lg \frac{200 + 38}{38}} = 138m^3 / d$$

勘察资料提供的渗透系数及该区域工程经验，该承压含水层单井涌水量在 $q=200.0 \sim 500.0m^3/d$ ，故本次计算取单井涌水量 $q=300.0m^3/d$ 。

按式 $n=1.1 \times Q \div q$ ，计算一期基坑需要的降压井数量：

$$n=1.1 \times Q \div q = 1.1 \times 138 \div 300.0 \approx 1 \text{ 口}。$$

根据以上计算结合基坑长度，基坑内布置 2 口减压井和 1 口观测兼备用井，根据⑦2 粉土层埋藏深度及厚度，设计减压井深度为 45.0 m，过滤器位置为 35.0~

44.0 m，编号 H6、H7、HG4。具体平面位置见附图 1，井结构详见附图 2。

5、第 5 和 6 区域减压降水

地下连续墙未隔断基坑内外该承压含水层水力联系，基坑总涌水量按均质含水层承压水完整井涌水量公式计算。

为保证端头井基坑安全，最小安全降深取 $S_w=5.2m$ ，基坑等效半径 $r_0=\eta \times (a+b)/4=56m$ 。

对于一期基坑，
$$Q = 2.73 \times 2.0 \times \frac{10 \times 5.2}{\lg \frac{200 + 56}{56}} = 430m^3 / d$$

勘察资料提供的渗透系数及该区域工程经验，该承压含水层单井涌水量在 $q=200.0\sim500.0m^3/d$ ，故本次计算取单井涌水量 $q=300.0m^3/d$ 。

按式 $n=1.1\times Q\div q$ ，计算一期基坑需要的降压井数量：

$$n=1.1\times Q\div q=1.1\times 430\div 300.0\approx 2 \text{ 口}。$$

根据以上计算，结合基坑长度，基坑内布置3 口减压井和1 口观测兼备用井，根据⑦₂ 粉土层埋藏深度及厚度，设计减压井深度为45.0 m，过滤器位置为35.0～44.0 m，编号 H8～H10、HG5。具体平面位置见附图 1，井结构详见附图 2。

3.3 降压井数量统计

依据上面的井数计算，在本工程基坑内外共布置降压井 10 口，详见下表 5.2-2。

表 5.2-2 降压井布置数量统计表

基坑	层位	类型	井深（m）	数量（口）	井编号
1 区基坑	⑦ ₂ 层	降压井	45.0	2	H1、H2
	⑦ ₂ 层	备用井	45.0	1	HG1
2 区基坑	⑦ ₂ 层	降压井	45.0	2	H3
	⑦ ₂ 层	备用井	45.0	1	HG2
3 区基坑	⑦ ₂ 层	降压井	45.0	2	H4、H5
	⑦ ₂ 层	备用井	45.0	1	HG3
4 区基坑	⑦ ₂ 层	降压井	45.0	2	H6、H7
	⑦ ₂ 层	备用井	45.0	1	HG4
5、6 区基坑	⑦ ₂ 层	降压井	45.0	3	H8～H10
	⑦ ₂ 层	备用井	45.0	1	HG5

3.3 基坑减压降水控制分析

根据基坑突涌可能性分析及计算对主体⑦ 2 层粉砂或粉土层承压水控制分析，基坑需降压部分进行开启时间与开启井数量、位置分析如下：

表 5.2-3 基坑开挖承压水水位水量控制表

工况（开挖深度）		承压水水位 标高控制要 求（m）	降深（m）	控制标准 安全系数	开启降压 井编号	单井涌水量 （m ³ /d）
工况 1	16.0m	3.0	0.0	FS=1.10	---	---
工况 2	17.1m	5.0	2.0	FS=1.10	H2、H3、H6~ H9	100-150
	18.9、19.9m	8.2/9.9	5.2/6.9	FS=1.10	H1、H10	100-300
工况 3	底板施工	8.2/9.9	5.2/6.9	FS=1.10	H1、H10	100-300
	底板强度达 设计要求后	停抽				
工况 4	顶板完成前	抗浮阶段				
工况 5		封井				

对于换乘段，因围护结构已隔断承压含水层内外水力联系，没有补给来源，水位下降控制容易，按要求把水泵放置基坑底部附近进行疏干降水即可满足降水控制要求，在下二层板施工时停止降水。其它控制与其它区域类似。

各阶段减压降水与设计减压降水一致，且根据坑内水位，通过调节单价出水量进行“按需降水”控制，使坑内水位在确保安全水位的同时，不超降深。

在基坑开挖至 16.3m 深后，减压降水启动，根据坑外水位降深情况，监测周边环境变化，防止因水位降深过大而产生的超量沉降。

3.4 减压降水数值模拟

3.4.1 数值模型

1. 渗流数值模型

在不考虑水密度变化的条件下，地下水三维连续渗流方程可用下面的偏微分方程来表示：

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z})-W=S_s\frac{\partial h}{\partial t}$$

其中：K_{xx}、K_{yy} 和 K_{zz} 为渗透系数在 x、y、z 方向上的分量；

h ：水头；

W ：单位体积流量，用以代表流进汇或来自源的水量；

S_s ：孔隙介质的贮水率；

t ：时间。

以上公式加上相应的初始条件和边界条件，便构成了一个描述地下水流动体系的数学模型，但该式的解析解一般很难求得。因此，采用有限差分数值法来求得上式的近似解。

首先将一个三维的含水层系统划分为一个三维的网格系统，整个含水层被剖分为若干层，每一层又剖分为若干行和若干列，这样含水层就被剖分为许多小长方体，每个长方体称为计算单元，每个计算单元的位置用该计算单元所在的行号（i）、列号（j）、层号（k）来表示，并用下标标记，则有：

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, 3, \dots, nrow \\ j &= 1, 2, 3, \dots, ncol \\ k &= 1, 2, 3, \dots, nlay \end{aligned}$$

每个剖分出来的小长方体的中心位置称为节点，本模型采用单元中心法进行计算。地下水运动模型不但在空间上进行离散，同时也在时间上进行离散，采用向后差分，得出模型求解差分公式如下：

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\ & + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) \\ & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t_m - t_{m-1}} \end{aligned}$$

采用地下水三维水流模型进行基坑降水数值模拟，能够更加的贴近工程实际水流状态，可用于基坑降水的水位预测和降水方案的可行性分析。

根据场区的实际特点，计算区上下边界是弱含水层边界，四周边界取为常水头边界。为减小边界的不确定性给计算结果带来的影响，计算范围尽可能外延至合理范围。

在建立拟合期初始流场时采用观测水位，以线性插值的方式来求出同一层面上各单元中心点的初始水位值，弱透水层的水位也以插值的方法求得，然后以ASCII文件形式将模拟初始时刻水位值赋给模型。

2. 沉降数值模型

计算含水层的沉降量的沉降模型的方程为:

$$\Delta b^* = -\Delta h \times \Delta t \times S_{fe} \times A$$

$$\Delta b = -\Delta h \times \Delta t \times S_{fv} \times A$$

$$S = b_1 + b_2 + \dots + b_n$$

Δh --水头变化量;

Δt —时间变化量;

Δb^* 、 Δb --土层弹性压缩量、土层压缩量;

A —相应土层厚度;

S_{fe} --弹性压缩系数;

S_{fv} —压缩系数;

S —累计总沉降量。

方程中 Δb 表示厚度为 A 的含水层在 Δt 时间内的压缩量。对于任何模型, 若给定的前期固结水头大于初始水头, 则指定前期固结水头为初始水头值, 构成了求解地下水流和地面沉降之间的耦合模型。沉降模拟预测时, 忽略土层的前期固结影响和试验期间减压降水的固结影响。

3. 模型剖分

根据场区的实际水文地质结构条件及几何形状进行三维剖分。由于承压含水层渗透性大, 通过试算, 确定以基坑中心点为基点, 方向各延伸800m 作为本次模拟计算区域, 共计 1600m×1600m。剖分时在基坑附近对网格加密, 平面上剖分为 158×116 个网格单元 (见图 4.1), 剖面上剖分为 12 层 (见图 4.2)。

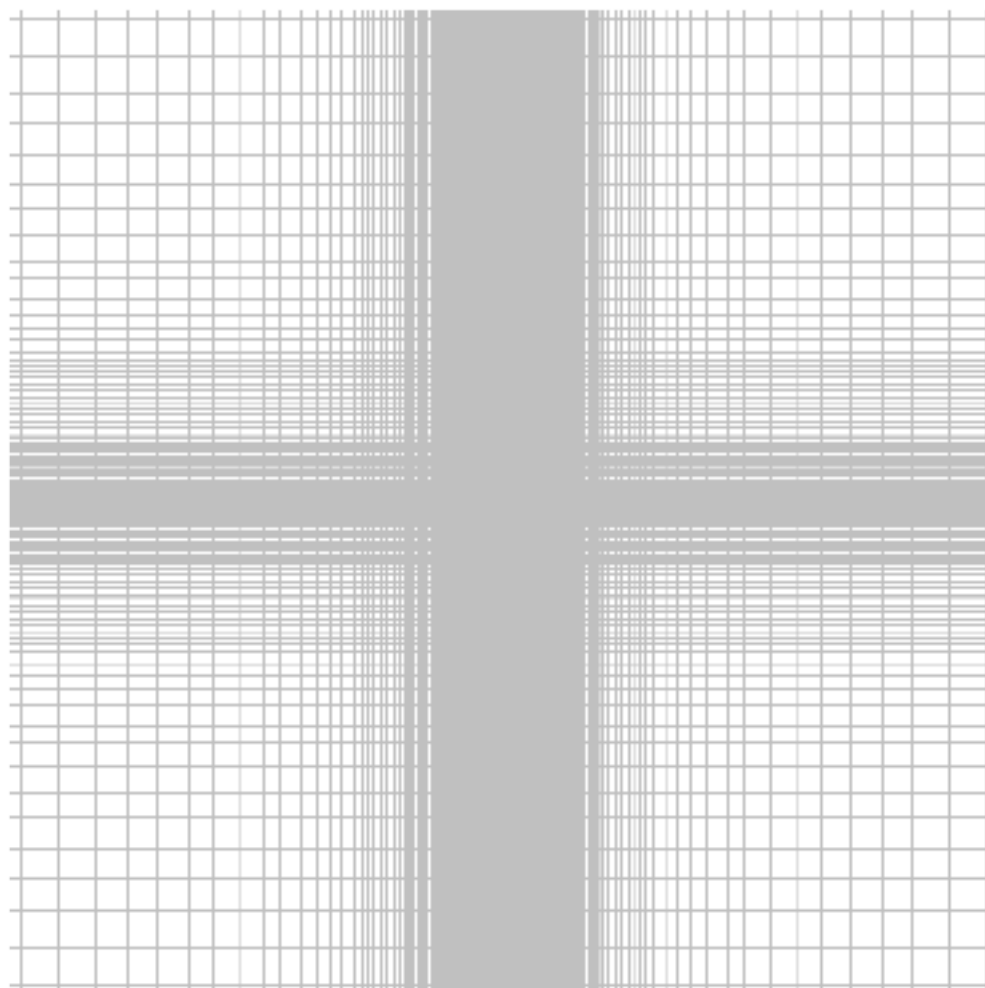


图 4.1 模型网格剖分图

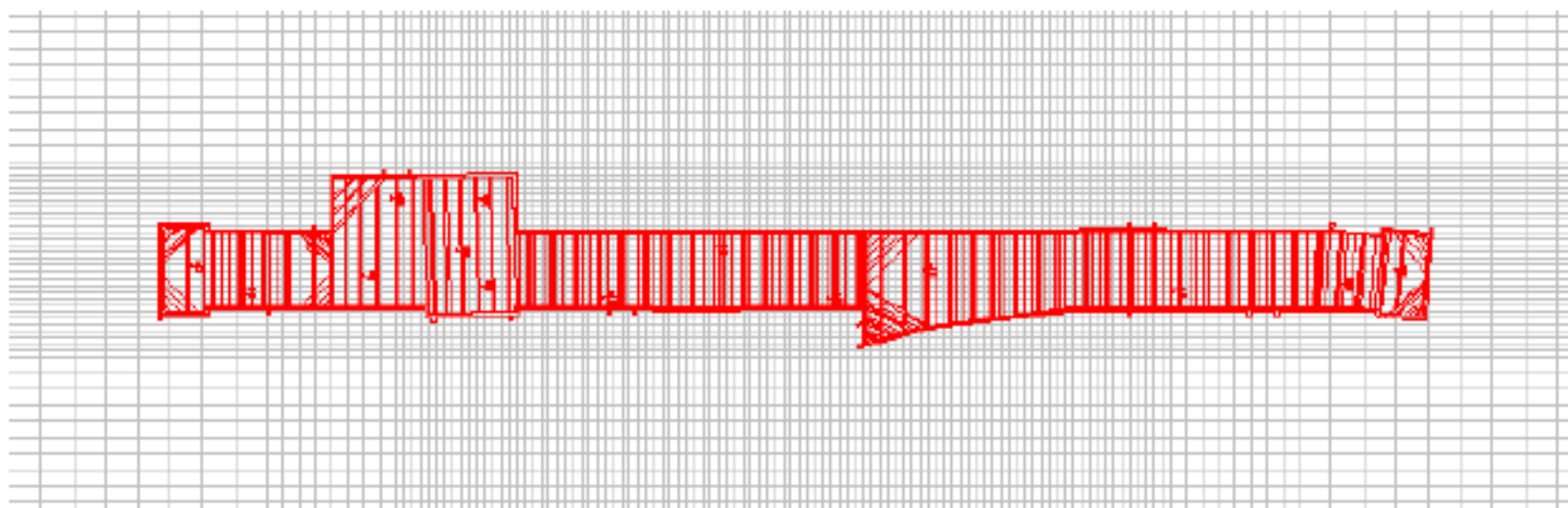


图 4.2 模拟范围局部放大图

3.4.2 基坑数值模拟

根据钻孔地层和地下水位动态等建立基坑降水数值模拟模型，对布置的基坑减压方案进行数值模型模拟，通过数值计算手段进一步验证布置的方案合理性，并预测基坑降水引起周边地区地下水渗流场变化趋势。

1. 主体北侧区域基坑

根据布置的降水方案，对减压降水进行数值模拟，开启 2 口减压井。开挖至 16.0m 开始启动降压井（H1、H2），随开挖深度不断增加，至端头井开挖结束，单井涌水量在 100~200m³/d，抽水稳定后可满足基坑开挖要求，各阶段水位降深运行结果如下：