

1 总则

1.0.1 为提升我国城市道路应对地下安全风险的响应能力，提高地面道路交通联动组织技术水平，保障道路运行安全和运行效率，制定本导则。

1.0.2 本导则适用于城市道路因地下施工扰动、水文地质变化、地下管线损坏等引发安全风险的监测预警，及应对安全风险的道路应急交通组织。

1.0.3 城市道路地下安全风险应急交通组织应执行预防为主方针，遵循安全优先、兼顾效率的基本原则。

1.0.4 城市道路地下安全风险应急交通组织，除应符合本导则外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 地下安全风险 underground risk

因地下施工扰动、水文地质变化、地下管线损坏等对地面道路正常运行造成不利影响的概率（频率）及其损失的组合。

2.0.2 风险监测 risk detection

采用仪器监测、现场巡查或远程监控等技术和方法，长期连续地采集和收集城市道路路面及地下安全状态的信息并进行分析和反馈的活动。

2.0.3 风险评估 risk assessment

对风险进行界定、辨别和估计，采用定性或定量方法分析风险。

2.0.4 风险等级 risk rating

根据地下安全风险可能造成的破坏程度确定的风险级别。

2.0.5 应急交通组织 emergency traffic organization

在应对地下安全风险过程中，根据国家相关法律法规、政策和标准规范，综合运用交通工程技术，为维护道路交通秩序、保障道路交通安全、提高道路运行效率进行的交通组织工作。

2.0.6 警示区 warning area

位于交通管制区上游，警示前方有交通管制的区域。

2.0.7 终止区 termination area

设置于交通管制区下游调整交通流行驶状态的区域。

3 基本规定

3.0.1 城市道路地下安全风险应急交通组织的目的是在地下发生突发风险可能危及道路运行安全的情况下，对过往车辆、人员进行临时管制和快速疏导，保障人员和车辆安全，尽可能减少风险对路网运行的影响。

3.0.2 应对城市道路地下安全风险分级、分类开展应急交通组织。

3.0.3 城市道路地下安全应急交通组织应遵循如下流程：

- 1 开展地下安全风险监测；
- 2 评估风险等级并明确风险区管控要求；
- 3 分析交通影响程度与范围；
- 4 制定应急交通组织方案并实施。

3.0.4 道路地下安全风险监测系统及道路交通管理系统均应接入城市安全风险综合监测预警平台，形成道路地下安全风险监测预警与地面道路交通组织协同处置机制，提高城市道路安全综合风险管控能力。

3.0.5 城市道路地下安全风险应急交通组织应对道路及地下环境开展常态化监测，及时掌握地下安全风险的属性特征，并及时上报风险信息。

3.0.6 城市道路地下安全风险应急交通组织应实时掌握道路网运行状态，能够根据风险预警信息，及时启动应急交通组织预案，指挥调度应急组织力量快速抵达现场，做好风险区域及周边区域的交通管制与疏导。

4 道路地下风险监测预警

4.1 一般规定

4.1.1 地下风险源探测方法根据监测对象和监测项目的特点、工程监测登记、设计要求、精度要求、场地条件和当地工程经验等综合确定。

4.1.2 高风险区动态监测应符合下列规定：

1 动态监测应建立预警管理制度，包括监测预警等级、预警标准、警情报送对象、时间和方式等。

2 当现场地质情况或施工方法发生变化时，应及时调整动态监测项目和内容。

3 动态监测数据应及时校对和整理，信息传递渠道通畅，反馈及时有效。

4 采用信息化手段进行监控量测数据分析和反馈。

4.2 地下风险因素调查

4.2.1 地下风险源的探测内容应包括风险源的类型、埋深、位置、尺寸、数量、填充物、地下水位以及风险源周围地质状况。

4.2.2 空洞的探测可采用探地雷达法、高密度电阻率法、瞬态面波法、微动勘探法、地震映像法和瞬变电磁法等地球物理方法及钻探、井探、槽探、洞探等。对于空洞应查明其空洞尺寸、位置、规模、富水状态、填充物、地下水位等。

4.2.3 富水砂层可采用探地雷达法、瞬态面波法和微动勘探法探测砂层的埋深、砂层厚度、地层分布等，采用钻探取样、原位测试、室内试验等方法获取砂层含水率、内摩擦角、密度、密实度、颗粒级配等属性。

4.2.4 断层破碎带可采用探地雷达法、瞬态面波法和微动勘探法探测破碎带规模、位置、延展方向、倾向、倾角、贯穿情况、地下水位等，采用钻孔取样的方法获取破碎带岩体的力学性质和裂隙分布情况。

4.2.5 回填土可采用探地雷达法、瞬态面波法和微动勘探法探测回填土分布、厚度等，采用钻孔取样、原位测试等方法获取回填土的物质成分、颗粒级配、均匀

性、密实性、压缩性和湿陷性。

4.2.6 地下管线渗漏可采用探地雷达法、高密度电阻率法、瞬变电磁法等探测地下管线渗漏的位置、影响范围等，并采取钻探等方式探测渗漏管线周围土体的含水率、渗透率等。

4.2.7 地下风险源探测成果的判定应符合现行标准《城市地下病害体综合探测与风险评估技术标准》JGJ/T437 等的相关规定。

4.3 地下风险监测要求

4.3.1 动态监测通常用于观察和测量地质、环境、结构或其它系统的变化。动态监测内容主要由地下监测、地表监测、地上监测三部分组成。

4.3.2 地上监测内容为位移监测，方法主要有三维激光扫描方法、全自动测量机器人方法、卫星遥感方法（光学/电磁波）、合成孔径雷达方法、全球定位系统（GPS）、无人机和航空摄影、水准监测方法、全站仪测量方法等。

4.3.3 地表主要监测内容为应力应变监测，其监测方法主要有电阻式应力应变计、光纤应力应变计、全分布式光纤传感监测、震弦式应力应变计等方法。

4.3.4 地下监测内容为地下水位监测、温度监测、应力监测、位移监测，监测方法主要有地震波监测、电磁检测、温度传感器监测、位移计监测、应变计监测。

4.3.5 多监测内容同步进行时应满足：

- 1 时间协同：确保所有监测活动都是时间同步的，以便在分析时可以相互印证。
- 2 空间协同：地下、地表和地上的监测应在相同或相近的地点进行，以便能够全面理解一个区域的动态。
- 3 参数协同：不同监测方法测量的参数是可以互相验证或互补。

4.4 地下风险等级评估

4.4.1 地下风险等级评估应计算如下内容（计算公式见附录 A）：

- 1 车辆动态交通荷载计算（附录 A.1 节）；

- 2 隧道上覆土压力计算（附录 A.2 节）；
- 3 砂层松动区域宽度及沉降计算（附录 A.3-A.4 节）；
- 5 隧道软弱覆岩稳定性计算（附录 A.5 节）；
- 6 结构层稳定性及挠度计算（附录 A.5-A.6 节）。

4.4.2 风险等级分级：

表 4.4.2 地下风险等级分级

风险等级	风险描述	预测沉降值（m）
0	$M \leq M_u$ ，地表未坍塌，沉降小	<0.03 或 $<f_{max}$ ($f_{max} < 0.03$)
1	$M \leq M_u$ ，地表未坍塌，沉降大，有坍塌风险	>0.03 且 $<f_{max}$
	$M > M_u$ ，地表塌陷，塌陷范围较小	<0.5
2	$M > M_u$ ，地表塌陷，塌陷范围一般	<3.5
3	$M > M_u$ ，地表塌陷，塌陷范围较大	<6
4	$M > M_u$ ，地表塌陷，塌陷范围重大	≥ 6

4.4.3 道路管控要求：

表 4.4.3 道路管控要求

风险等级	预测沉降值（m）	道路管控
0	<0.03 或 $<f_{max}$ ($f_{max} < 0.03$)	无
1	>0.03 且 $<f_{max}$	禁止 5t 以上载货车辆通行，禁止大客车、公交车等通行，限速 40km/h
	<0.5	
2	<3.5	禁止 3t 以上车辆通行，限速 20 km/h
3	<6	禁止任何车辆通行
4	≥ 6	禁止任何车辆、行人通行

5 道路通行能力影响评估

5.1 一般规定

5.1.1 根据地下风险区域在地面道路的投影位置,分为路段风险和交叉口风险两种场景;根据受影响区域的道路功能,分为机动车道风险、非机动车道风险、人行道风险。

5.1.2 当风险点位于路段时,应根据风险等级及管控要求评估路段剩余通行能力。

5.1.3 当风险点位于交叉口内时,应识别受影响的进、出口道及流线,根据风险等级及管控要求评估对应交通流向的剩余通行能力。

5.1.4 当风险点位于非机动车道或人行道内时,应根据风险等级及管控要求确定是否允许非机动车、行人通行。

5.2 通行能力评估

5.2.1 根据道路地下安全风险等级判断其对道路通行的影响,可以分为无影响风险、限制通过风险和禁止通过风险三种类型。

1 无影响风险下,通过车辆的类型、荷载不受限制,道路通行能力无折减。

2 限制通过风险下,若某种车型静荷载超出安全阈值,应禁止该类车型通过;其他车型根据其静荷载及安全阈值,测算允许其安全通过的最大速度,若该速度大于路段设计速度,车辆仍可按设计车速通过,若该速度小于路段设计速度,应限制该类车型行驶速度,并根据限速值,评估路段通行能力。

3 禁止通过风险下,须封闭风险区涉及车道,禁止所有车辆通过风险区。

5.2.2 风险路段的剩余通行能力按下式计算:

$$Q=Q_0*F_a*F_l*F_v*F_{HV} \quad (5.2.1)$$

式中:Q——剩余通行能力(pcu/h);

Q_0 ——原始通行能力(pcu/h),取值参见《城市道路工程设计规范(CJJ37-2012)》;

F_a ——车道折减系数，取值可参考附录 B；

F_l ——封闭长度折减系数，取值可参考附录 B；

F_v ——限速折减系数，取值可参考附录 B；

F_{HV} ——大车率折减系数，取值可参考附录 B。

5.3 交通影响范围界定

5.3.1 风险点位于路段时，当路段剩余通行能力满足实际通行需求时，交通影响局限在路段内，仅需对路段采取交通管控措施。

5.3.2 风险点位于路段时，当路段剩余通行能力无法满足实际通行需求时，造成车辆排队溢出路段，应采取路网组织措施疏散交通流，路网交通组织范围须覆盖风险路段上下游及相邻同等级道路围合的区域。

5.3.3 风险点位于交叉口时，当受影响的进出口道及流线的剩余通行能力满足实际通行需求时，仅需对该交叉口采取交通管控措施。

5.3.4 风险点位于交叉口时，当受影响的进出口道及流线的剩余通行能力无法满足实际通行需求时，应采取路网组织措施疏散交通流，路网交通组织范围须覆盖受影响进出口道上下游及相邻同等级道路围合的区域。

6 道路应急交通组织

6.1 一般规定

6.1.1 交通组织原则

- 1 落实风险预警要求，优先保证人员与车辆安全；
- 2 从时间上、空间上使交通流均衡分布；
- 3 尽可能减小风险区域通行能力下降对路网整体运行的影响；
- 4 交通管制和交通诱导相结合；
- 5 应急交通组织应符合现行国家标准《城市道路交通组织技术规范》（GB/T 36670-2018）的有关规定。

6.1.2 交通组织要求

- 1 满足风险路段沿线居民、单位工作人员的基本出行需求；
- 2 优先采取诱导分流等方法，降低风险路段管控对交通的影响；
- 3 风险路段允许通行的车道应满足安全通行的最小宽度要求；
- 4 视情况调整公交线路、站点，临时公交站点应保障乘客安全上下车；
- 5 制定交通应急预案，避免或降低突发事件导致的交通拥堵。

6.2 风险路段交通组织措施

6.2.1 根据风险区域位置及风险等级，明确风险管控区范围和管控要求，并合理设置警示区、交通管制区和终止区。

6.2.2 当风险路段剩余通行能力仍能满足通行需求时，可只在路段内实施交通管控措施。当风险路段剩余通行能力无法满足通行需求时，应采取周边路网协同组织措施。

6.2.3 当风险管控区需车辆限速通过时，应在上游发布前方限速信息，宜设置临时减速设施，在终止区发布解除限速信息。

6.2.4 当风险管控区需限制部分车型通行时，应在上游发布前方车型管控信息，禁止被限制车型驶入风险管控区，在终止区发布解除管控信息。

6.2.5 当风险管控区需对一条或多条车道禁止通行时，应在上游发布前方道路变窄信息，管制区宜采用物理设施隔离，禁止所有车辆驶入交通管控区，在终止区发布解除限制信息。

6.2.6 当风险管控区要求封闭部分步行或非机动车通道时，应在封闭区域周边设立警示牌引导行人、非机动车利用剩余空间通行，可采用人非混行方式组织交通。

6.2.7 当风险管控区要求封闭全部步行或非机动车通道时，应在封闭区域外开设临时通行便道（有条件路段可临时占用部分机动车道），临时通行便道可采用人非混行方式组织交通。

6.2.8 当风险管控区需封闭全部步行或非机动车通道，且封闭区域外无法开设临时通行便道时，应在封闭区域上游地块出入口、交叉口发布绕行路径信息，利用周边道路网组织行人、非机动车绕行。

6.3 风险交叉口交通组织措施

6.3.1 当风险管控区未覆盖交叉口全部进、出口车道时，应维持交通管控区外各进、出口车道正常通行，仅对风险涉及进、出口道采取交通管控措施，降低风险对路网运行的冲击。

6.3.2 当交叉口风险管控区需限速通过时，应风险管控区上游路段发布前方交叉口限速信息，在交叉口实施限速管控。

6.3.3 当交叉口风险管控区需限制部分车型通过时，应在风险管控区上游交叉口发布前方车型限制和绕行路径信息，在适当位置设置调头区域，组织受限车辆驶离，禁止被限制车型驶入风险管控区。

6.3.4 当交叉口风险管控区禁止车辆通过时，应在风险管制区设置物理隔离，禁止所有车辆、行人进入，在风险管控区上游交叉口发布前方路口封闭及绕行路径信息，在适当位置设置调头区域，组织受限车辆驶离。其余进口道不能满足部分转向时，应在上游路段设置限制转向标志。

6.4 周边路网协同交通组织措施

6.4.1 当风险位于交叉口或风险路段剩余通行能力不能满足实际通行需求时，应采用路网协同交通组织措施。

6.4.2 周边路网协同交通组织,主要原则是控制进入风险路段或交叉口的车辆数,快速疏散车辆,做到“慢进快出”,避免车辆聚集在风险区域。

6.4.3 周边路网协同交通组织应先识别影响区域大小,确定主要控制性节点,进行边界控制,其次要对主要通道进行协调控制,保障区域通行能力,最后要实时监测风险管控区的运行状况,动态调整管控策略。

6.4.4 区域路网协同交通组织措施主要包括单行交通组织、反向交通组织、区域信号协调控制、动态交通诱导等,可根据风险影响区域路网实际情况灵活选择。

附录 A：地下风险等级评估计算公式

A.0.1 车辆动态交通荷载通过下式 (A.0.1-1) 计算：

$$F(t) = p + q\sin(\omega t) \quad (\text{A.0.1-1})$$

式中： p 是车辆静载； q 是车辆振动荷载幅值，取 $q=Ma\omega^2$ ； M 是车辆簧下荷载； a 是路面几何不平度，反映了路况，取 $a=2mm$ (国际高速公路平整度指数)； ω 是振动圆频率， $\omega=2\pi v/l$ ， v 是车速； l 是路面几何曲线波长，取车身长度。

为简化计算，对车辆动态交通荷载峰值进行等效土柱高度换算：

$$h_0 = \frac{NF_{max}}{\gamma BL} \quad (\text{A.0.1-2})$$

式中： h_0 是等效土柱高度； N 是横向分布车辆数，单车道 $N=1$ ，双车道 $N=2$ ，多车道按实际布置； F_{max} 是动态交通荷载峰值； γ 是土的重度； B 是横向分布车道宽度； L 是汽车前后轮胎距离。

A.0.2 地下洞状构筑物上覆土压力通过下式 (A.0.2) 计算：

$$\sigma_v = \frac{\gamma b - c}{K \tan \varphi} (1 - e^{-K \tan \varphi \frac{h}{b}}) + q e^{-K \tan \varphi \frac{h}{b}} \quad (\text{A.0.2})$$

式中： γ 是土的重度； b 是滑动土柱宽度的一半； c, φ 分别是土的黏聚力和内摩擦角，对于砂土 $c=0$ ； K 是侧压力系数； h 是上覆土层厚度； q 是地面分布超载，取车辆荷载。

A.0.3 基于重力流椭球理论确定砂层松动区域：

$$\frac{x^2}{b_G^2} + \frac{(z-a_G)^2}{a_G^2} = 1 \quad (\text{A.0.3-1})$$

式中： a_G 、 b_G 分别是极限椭圆长轴和短轴。

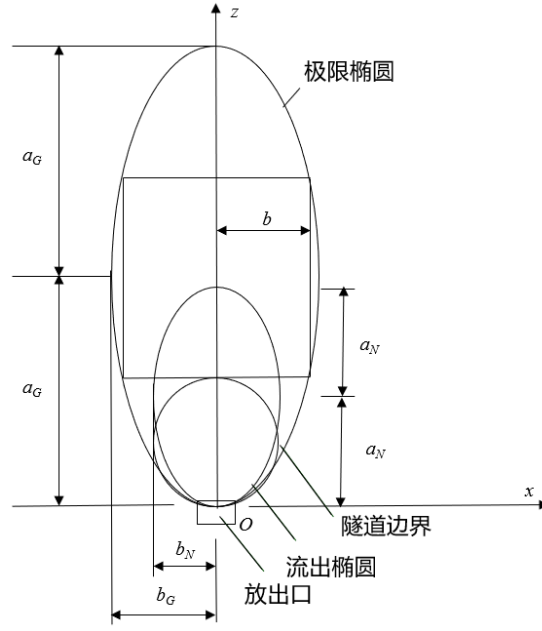


图 B.1 重力流椭球体理论

偏心率:

$$\varepsilon = \frac{1}{a_G} (a_G^2 - b_G^2)^{1/2} \quad (\text{A.0.3-2})$$

松动系数:

$$\beta = \frac{e_{\max} + 1}{e_{\max} - D_r(e_{\max} - e_{\min}) + 1} \quad (\text{A.0.3-3})$$

式中: $e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ 分别为土体最大、最小孔隙比, D_r 为土的相对密实度。

假定放出椭圆与隧道面积相同 $S = \pi a_N b_N$, 且放出椭圆与极限椭圆偏心率一致。则联立式 (A.0.3-1) - (A.0.3-3) :

$$a_G = \left(\frac{\beta S}{\pi(\beta-1)} \right)^{1/2} (1-\varepsilon^2)^{-1/4} \quad (\text{A.0.3-3})$$

$$b_G = \left(\frac{\beta S}{\pi(\beta-1)} \right)^{1/2} (1-\varepsilon^2)^{1/4} \quad (\text{A.0.3-4})$$

将 $z=D_{\text{隧道}}$ 代入式 (A.0.3-2) :

$$b = \frac{b_G}{a_G} \left(\sqrt{a_G^2 - (D_{\text{隧道}} - a_G)^2} \right) \quad (\text{A.0.3-5})$$

式中: $D_{\text{隧道}}$ 是隧道高度。

将: $z=H_{\text{隧道}}$ 代入可得砂层沉降槽宽度 w :

$$w = 2 \frac{b_G}{a_G} \left(\sqrt{a_G^2 - (H_{\text{隧道}} - a_G)^2} \right) \quad (\text{A.0.3-6})$$

式中：H_{隧道}是隧道底部与砂层顶部的距离。

A.0.4 砂层沉降曲线：

$$S_v = S_{vmax} e^{\left(-\frac{x^2}{2x_i^2}\right)} \quad (\text{A.0.4-1})$$

$$S_{vmax} = \frac{V_s}{\sqrt{2\pi}x_i} \quad (\text{A.0.4-2})$$

$$w = 2\sqrt{2\pi}x_i \quad (\text{A.0.4-3})$$

式中：S_v是土体沉降曲线，S_{vmax}土体最大沉降量，V_s单位长度损失土体的体积V_s = $\frac{V_l \pi D^2}{4}$ ，V_l取 1%，x_i为沉降曲线反弯点到隧道中心的水平距离，w为沉降槽宽度。

将式（A.0.3-5）-（A.0.4-2）联立可得：

$$S_{vmax} = \frac{\pi D^2 V_l a_G}{4b_G(\sqrt{a_G^2 - (H - a_G)^2})} \quad (\text{A.0.4-4})$$

$$x_i = \frac{b_G}{\sqrt{2\pi}a_G} (\sqrt{a_G^2 - (H - a_G)^2}) \quad (\text{A.0.4-5})$$

各参数物理意义同前。

A.0.5 隧道软弱覆岩及结构层失稳判据：

将上覆软弱围岩和结构层采取梁板理论计算。

$$M_u = \frac{\sigma_t \sigma_c h^2}{2(\sigma_t + \sigma_c)} \quad (\text{A.0.5-1})$$

$$M \leq M_u \quad (\text{A.0.5-2})$$

式中：M_u是极限弯矩，σ_t为抗拉强度，σ_c抗压强度，h为土层或覆岩的厚度。

软弱覆岩跨度为隧道洞径 D，厚度 h 取上覆围岩薄弱处厚度，在车辆荷载、自重及上覆土层作用下：

$$M = \frac{1}{8} q D^2 = \frac{1}{8} \sigma_v D^2 \quad (\text{A.0.5-3})$$

式中：q 是土压力，D 为覆岩跨度，取隧道洞径宽度。

结构层跨度为沉降槽宽度 w，在车载及自重作用下：

$$M = \frac{1}{8} q w^2 = \frac{1}{8} (\gamma \sum h_i) w^2 \quad (\text{A.0.5-4})$$

式中： q 是土压力， γ 为土层重度， h_i （含当量土柱高度 h_0 ）为土层厚度， w 为沉降槽宽度。

A.0.6 结构层挠度：当结构层 $M \leq M_u$ 时的最大挠度

$$f_{max} = \frac{5qw^4}{384EI} = \frac{5(\gamma \sum h_i)w^4}{384EI} \quad (\text{A.0.6})$$

式中： q 是土压力， EI 为弯曲刚度， γ 为土层重度， h_i （含当量土柱高度 h_0 ）为土层厚度， w 为沉降槽宽度。

附录 B: 通行能力折减系数

B.0.1 封闭车道时, 该道路通行能力的车道折减系数 F_a 可参考表 B.0.1;

表 B. 0. 1 道路通行能力的车道折减系数 F_a 参考值

原路段条件	路段管控情景	车道折减系数
单向双车道	封闭一条车道	0.481
	封闭两条车道	0
单向三车道	封闭左侧一条车道	0.665
	封闭中间一条车道	0.517
	封闭右侧一条车道	0.667
	封闭左侧两条车道	0.317
	封闭右侧两条车道	0.317
	封闭三条车道	0
单向四车道	封闭左侧第一条车道	0.844
	封闭左侧第二条车道	0.571
	封闭左侧第三条车道	0.588
	封闭左侧第四条车道	0.842
	封闭左侧两条车道	0.519
	封闭中间两条车道	0.411
	封闭右侧两条车道	0.515
	封闭三条车道	0.257
	封闭四条车道	0

B.0.2 封闭车道时, 该道路通行能力的封闭长度折减系数 F_l 可参考表 B.0.2。

表 B. 0. 2 道路通行能力的封闭长度折减系数 F_l 参考值

封闭车道长度 (m)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
折减系数	1.000	0.998	0.996	0.994	0.993	0.991	0.988	0.987	0.987
封闭车道长度 (m)	120	130	140	150	160	170	180	190	200
折减系数	0.987	0.986	0.986	0.986	0.985	0.985	0.985	0.984	0.984

B.0.3 限制车速时, 该道路通行能力的限速折减系数 F_v 可参考表 B.0.3;

表 B. 0. 3 道路通行能力的限速折减系数 F_v 参考值

车道情况		20km/h	30km/h	40km/h	50km/h
双车道	1 条车道限速时 通行能力折减系数	0.821	0.901	0.933	0.992
	2 条车道限速时 通行能力折减系数	0.631	0.818	0.920	0.984

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/976143243113010045>