



中华人民共和国国家标准

GB/T 19846—2005/ISO 10815:1996

机械振动 列车通过时引起铁路隧道 内部振动的测量

Mechanical vibration—Measurement of vibration generated internally in railway
tunnels by the passage of trains

(ISO 10815:1996, IDT)

2005-07-11 发布

2006-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准等同采用国际标准 ISO 10815:1996《机械振动 列车通过时引起铁路隧道内部振动的测量》(英文版)。

本标准等同翻译 ISO 10815:1996。

为便于使用,本标准做了下列编辑性修改:

- a) 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”;
- b) 删去了国际标准的前言。

本标准的附录 A、附录 B 是资料性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国机械振动与冲击标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:西南交通大学、郑州机械研究所。

本标准起草人:曾京、潘文峰、罗仁、高波、邬平波、戴焕云。

引 言

铁路隧道经常受到内部振源(列车、维修车辆、维护工作等)产生的振动的影响。

本标准仅涉及由列车经过时引起的振动。

在隧道内测量振动有各种目的,归纳如下:

当一条隧道所受的振动可能会影响其完整性时,就应进行适当的测量(见 9.1)来评定其振动等级是否能被接受。

在以下的情况下可对振动进行测量:

- 当最大允许振动已确定,并要求定期检查时(见 9.2);
- 当一条新建隧道的动态性能已预测,并且必须针对设计数据检验其性能时(见 9.1);
- 当隧道受到外界不正常作用(例如:火灾、地震、爆炸、附近建筑物的打桩或拆除)的影响这样一种特殊情况,必须检查其结构完整性时;
- 当轨道和(或)其他的内部振动源(例如车辆轴重)发生变化时。

机械振动 列车通过时引起铁路隧道 内部振动的测量

1 范围

本标准规定了用于列车通过铁路隧道而引起的隧道振动的测量、处理和评价的基本准则。

通过采用标准的程序,在激励源相同的情况下,可随时获得隧道各部分的振动响应数据。在不同隧道中获得的数据也可以进行比较。

本标准所考虑的测量是针对隧道结构和在其内的辅助部分的响应,不涉及在隧道内或在其附近的人或者是通过隧道的列车中的乘客的响应。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

ISO 1683:1983 声学 提供声学标准的参考参数

ISO 4866:1990 机械振动和冲击 对建筑物振动影响的测量和评价基本方法及使用导则

ISO 5348:1987 机械振动与冲击 加速度计的机械安装

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

隧道 tunnel

供旅客列车、货物列车和维修列车通过的地下结构。

3.2

背景噪声 background noise

除了要研究的信号之外的所有信号的总和。

4 影响振动的因素

4.1 与隧道有关的因素

隧道的动态性能在很大程度上依赖于它的几何结构、辅助部分、隧道深度和围岩性质。

一条隧道通常是由一个个部分(例如混凝土、通风口等)分别与围岩相结合而构成的系统。这些部分可能会有不同的响应特性,并会受到周围的土壤或岩石的影响。

4.1.1 隧道的类型和状况

隧道类型有多种多样,不同的隧道有不同的振动响应,在附录 B 中给出示例。

4.1.2 固有频率和阻尼

本标准所感兴趣的频率是只与隧道组成部分响应有关的频率,而不是处于周围介质中的隧道本身的基频。这些部分的固有频率可如下确定:

——当隧道各部分受到外界巨大而短暂的作用(例如打桩或爆炸)影响时,对其响应进行测量;

——用激振器作为单频振源,对响应的幅值进行测量;

——利用外界激励和频谱分析进行响应的测量。

对阻尼的准确测量是一项十分困难的工作,尤其是对于既包含有低阻尼部件(例如梁),同时又有与隧道表面紧贴部件(由于波辐射阻尼较高)的那些隧道。

4.1.3 围岩

隧道的围岩对隧道的刚度及其振动响应有很大的影响,因此,在对响应进行预报时应作为主要因素考虑。围岩的性能依赖于土壤颗粒的大小、紧密程度、饱和度、地下水位和层面以及激励的幅值、频率和持续时间。

4.2 与振源有关的因素

列车经过产生的振动可以根据信号类型、持续时间和频率范围来归类(见 ISO 4866)。

信号又依赖于列车的机械性能、轨道、轮轨接触以及列车重量和速度。

分析的频率范围依赖于激振力的频谱分布和从激振源或振源到隧道墙壁或内衬的传递函数。

隧道不同部分的响应频率应在 1 Hz~100 Hz 范围内。而对于轨道,通常感兴趣的频率范围高达 2 kHz,虽然更高的频率也会出现。

5 测量参数

在隧道振动的有用频率范围内,通常测量的振动量有速度和加速度。

在较低的频率范围内优先测量速度,而在高频范围内由于测量仪器的原因则优先测量加速度。

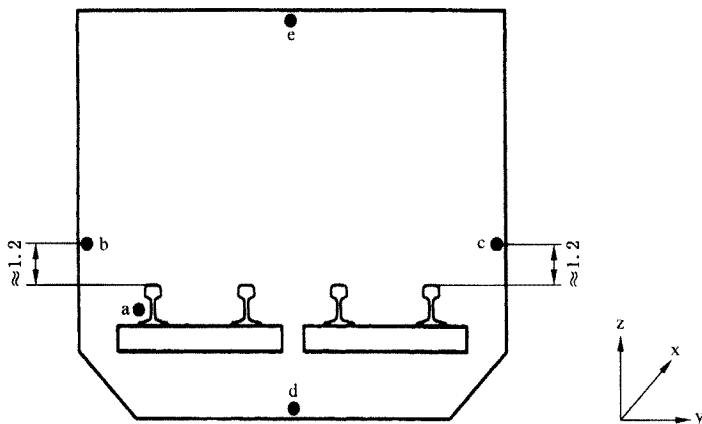
6 测量方法

6.1 根据列车通过情况设置传感器

理想情况下,至少应有一段 200 m 长的直线隧道用来测量。传感器的设置应该避开任何可见的有缺陷或特殊的区域(大的裂缝、渗水区、道岔和道口),除非要对这些区域的影响进行研究。为了研究隧道的响应,传感器的方向最好与隧道的 3 个基轴(1 个竖直,2 个水平,见图 1)一致。

在下面的测量点布置中,假设列车是在左边的轨道上运行(见图 1)。

单位为米



测试类型	测点
完全测试(见 9.1)	a, b, c, d, e
有限测试(见 9.2)	b, d, e

图 1 根据测试类型布置隧道横断面测点

对于完全或有限测试(见 9.1 和 9.2),传感器应该如下布置:

- 置于仰拱与横断面垂直中心线的交点处(图 1 中的 d 点),当为有碴轨道时位于两根轨枕之间;当是其他形式的轨道时位于相邻的两扣件或道钉之间。
- 位于 d 点垂直上方的拱顶处(图 1 中的 e 点)。
- 位于隧道边墙上,紧靠列车将要通过的轨道,距轨面 1.2 m 处(图 1 中的 b 点)。

为了研究作为激励源的列车和传给隧道的振动之间的关系,应该在垂直于轨面的钢轨底部进行测量(图 1 中的 a 点)。

测点 a 倾向于考虑局部影响,在选择它作为有限测试的控制点之前应该确定它的典型性和稳定性。也应该考虑到轨道底部的斜面形状(见图 2)。

如果传感器不能放在仰拱处,就应该放置在离仰拱最近的合适点上,并且要指明在传感器与仰拱之间存在的所有物体。

进行完全测试时(见 9.1),为了尽量减小局部影响,也应该在非中间断面的两个断面处(通常相距 20 m)进行测量。然而,当在相距 20 m 的两个断面处获得的数据是相同的时候,也可以只在一个断面进行测量。

如果上面获得的数据的系统误差超过 25%(2 dB),就应该放弃这些数据而应考虑第 3 个测试断面。

当在 3 个断面获得的数据都不相吻合时,就应该检查局部状况,并且选择另一个测试断面。

6.2 传感器的固定

为了再现振动体的运动并尽量减少安装系统产生的响应,传感器应根据 ISO 5348 的规定进行安装。

固定装置要有足够的刚度并尽可能减轻自身质量。

当把传感器安装于钢轨底部时,一块成型钢板应刚性固定于传感器与钢轨之间(最好焊接在钢轨上),否则传感器就不可能垂直于钢轨的底部固定(见图 2)。

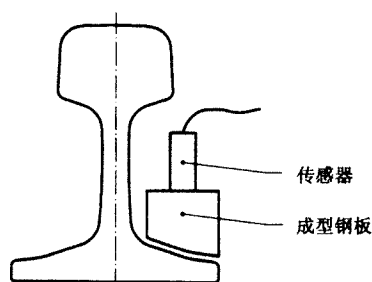


图 2 钢轨底部的测点

由传感器、固定支撑和螺栓组成的安装系统,其安装共振频率应比测试频率范围的上限高得多,这一点是非常重要的(见 ISO 5348)。

也应该注意到加速度计在列车经过时对空气耦合响应很敏感,因此有必要对它们进行空气噪声的隔声处理。

6.3 信噪比

在可能情况下,建议进行背景噪音的测量(见 3.2)。例如,当列车经过所引起的振动被记录下来后,没有列车经过时的信号也应该用同样的方法进行记录和处理,然后将两者的结果进行比较,这个比率就是信噪比 S/N 。

当信噪比 $S/N > 10$ dB 时,获得的数据可以不做修正。当信噪比 $6 \text{ dB} \leq S/N \leq 10 \text{ dB}$ 时,获得的数据就应该进行修正,并在试验报告中加以说明。

当信噪比 $S/N < 6$ dB 时,获得的数据只可作为参考。

7 测量仪器

传感器的选择对振动的正确评价是很重要的(见 ISO 4866),选择时应该考虑被测参数、频率(见 4.2)和幅值范围以及工作环境。

尤其重要的是传感器的共振和相位响应,还有积分器复传递函数,它们可能会导致对相同的机械输入产生不同的结果。

在钢轨上的大多数测量都会用到加速度计;另一方面,建议采用固有频率低于所要研究的最低频率的小型地震仪。

在相关联的一组测试前后都应该校准测量系统,并且至少每 2 年都应该由有相应认证的实验室对测量系统的仪器进行校准。

除了在钢轨上测量之外,其他位置的测量推荐采用速度传感器,其值的单位用 mm/s。每个测得的速度分量应该与其振动频率一并给出。如果用分贝标度,根据 ISO 1683(见注释),参考量应该是 10^{-6} mm/s。

如果有必要对加速度计的测量结果与其他传感器的速度输出做比较,应该对原始的加速度时间历程进行积分(最好是数字的),并且给出其傅立叶频谱。

而电子积分器,例如通过一个低通滤波器,可能会产生不同的结果,这取决于原始信号的幅值和相位以及积分器的复传递函数。

对于分贝刻度,根据 ISO 1683,参考加速度为 10^{-6} m/s²。

注:如果振动量如速度(mm/s)或加速度(m/s²)与合适的参考值(见 ISO 1683)规定不一致时,在声学中广泛应用的分贝刻度,当用于结构振动时可能会产生混淆,这点在对振动进行比较时尤为突出。

8 对内部振动源的测量

8.1 轨道状况

根据 9.1 和 9.2 的测试,轨道应该有良好的状况,没有可见的裂纹和波浪型磨耗。

8.2 列车状况

根据 9.1 和 9.2 的测试,车辆应该保持良好的状况,尤其是车轮不应该有踏面擦伤和其他可见裂纹。车辆应该是空车运行,仅有驾驶员和信号检测人员在车上。列车的编组应与正常运行时一样。客车速度应如下:

- 电车 11 m/s(40 km/h);
- 地铁列车 17 m/s(60 km/h);
- 快速城市车辆 22 m/s(80 km/h);
- 或被测横断面的最高允许速度。

在振动记录过程中,列车应该溜放,除非是最后一种情况(最高速度时)。

9 测试类型

测试有两种类型:完全测试和有限测试。

在任何测试中,用模拟仪器记录振动量级,常采用 1 s 的积分时间。

9.1 完全测试

这类测试被设计用于确定隧道系统是否在要求的规范之内工作,也可用于检查重大结构改造所产生的影响。这些测试应提供全面的动力学分析信息。

在这一情况下:

- 有各相距 20 m 的 3 个测试断面,如 6.1 中所述;
- 有 3 个单独的传感器,每一个对应直角坐标系的一个坐标轴,或者是在每个测量点放置一个三

向传感器(见 6.1);

- 记录列车至少 3 次以同一方向通过测量断面时的振动值;
- 用模拟仪器记录在时间历程内的最大均方根值(r. m. s);积分时间为 1 s;
- 测出的 3 组数据误差不超过 11%(1 dB),且在每个频率段不超过 40%(3 dB),就可作为真值;通过算术平均然后计算得到每个值的速度分量: v_x 、 v_y 、 v_z ;
- 总的信噪比(见 6.3)要大于 10 dB,每个频率段的信噪比也至少要大于 6 dB;
- 应该记录下 3 个正交分量。

9.2 有限测试

有限测试用于监测某些特殊的性能,并且要定期进行。

在此情况下:

- 只需要一个测量断面;
- 每个测点只需一个传感器,要垂直于相关平面(见 6.1);
- 检验时间历程应已足够;
- 信噪比 $S/N > 6$ dB 已足够(见 6.3);
- 应至少记录列车 3 次通过;测出的 3 个值相差不超过 3 dB 就可作为真值,并通过计算得算术平均值,把结果修约到最相近的整数分贝值。

试验可能会受到列车性能的影响,即使已确认列车处于良好的维护状态(见 8.2),但也要尽可能控制测量断面具有较少的列车通过量。

对于测试轨道,在前 5 年里时间间隔通常不要超过 1 年,在以后的 6 年里也不要超过 2 年。

用控制断面来检验的振动速度应是以上监测的列车测试前 1 到 2 年的数据,以确定各种基于列车而不是基于隧道和永久线路状况而引起的变化。

10 测量的评价

最简单的过程就是记录下测出的振动量的最大值,或是积分时间为 1 s 的最大均方根值(r. m. s 值,见 9.1)。

在特殊情况下,可以通过对测量信号进行积分或微分来计算得到所需的振动量。然而这些操作,无论是用模拟的或数字的方法,都可能会受到固有误差的影响,而在有些情况下这些影响是很难进行量化的。

一个解决办法是,至少在一个测点上对 2 个振动量同时进行记录,这样就可以对积分(或微分)的效果进行评价了。

应该注意到对于复杂的波形,低频积分需要知道传感器和测量链的幅值和相位响应。对信号处理的过程和局限性要进行详细的描述和评估。

应该在一段适当的持续时间内在 3 个正交方向上测量信号的时间历程,除非经验告知对于该问题不需要 3 个方向的测量。

隧道内振动的频率范围(1 Hz 到 100 Hz,见 4.2)通常要求测量振动速度;因此在一些文献和关于结构振动的国家标准中,一般都可以找到速度值(例如,见参考文献[1])。

在完全测试中,可采用三分之一倍频程分析方法求取傅立叶谱。在一些特殊情况下,还可采用窄频带分析(频带宽小于 1 Hz)来产生傅立叶谱。

11 试验报告

试验报告应该包括以下内容:

- 地点、日期以及主管工程师和试验员的姓名;
- 有关隧道和轨道结构的描述;

- 一张测试断面的尺寸图,应标示出测点和轨道的位置;
- 轨道周围的地质勘探数据;
- 传感器固定的位置和详细数据;
- 试验类型和目的;
- 测试仪器的类型,最近一次校准时间以及生产日期;
- 背景噪音量级和信噪比;
- 对激励源的描述(例如:列车速度、编组和轴重);
- 总体量级和三分之一倍频程量级(依赖于测试类型),最好是以图表的形式,三分之一倍频程 0 dB对应 5 mm 及 10 dB 对应 20 mm;
- 最高速度值的单位用 mm/s,加速度单位则用 m/s^2 ;
- 若进行积分,则要给出加速度数据;
- 积分时间;
- 如果有的话,要指出所采用的标准和振动规范。

附录 A
(资料性附录)

列车通过时引起的隧道振动

通常轨道激励是非平稳的和随机的,在城市轨道上要持续大约 10 s。

作为在隧道中可能产生的振动的参考,可以注意隧道边墙上已经测得的一些量值。

在米兰,根据轨道类型不同,振动速度在 0.01 mm/s 到 0.08 mm/s 之间;而对于维护状态较差的轨道,最大值可达 1 mm/s;

在巴黎,振动速度在 0.01 mm/s 到 0.03 mm/s 之间(见参考文献[2])。

指示的衰减为:

钢轨/仰拱:根据轨道不同,在 20 dB 到 40 dB 之间;

仰拱/边墙:根据隧道的类型,在 10 dB 到 20 dB 之间。

附录 B
(资料性附录)

铁路隧道示例

B.1 旧式隧道(1960 年之前建造)

B.1.1 地下隧道

B.1.1.1 砖石隧道

可以用岩块建造的(在基层或不在基层),有或者没有闭合的仰拱结构(见图 B.1),也可以是用混凝土建造的(见图 B.2)或混合有砖石的结构(见图 B.3)。

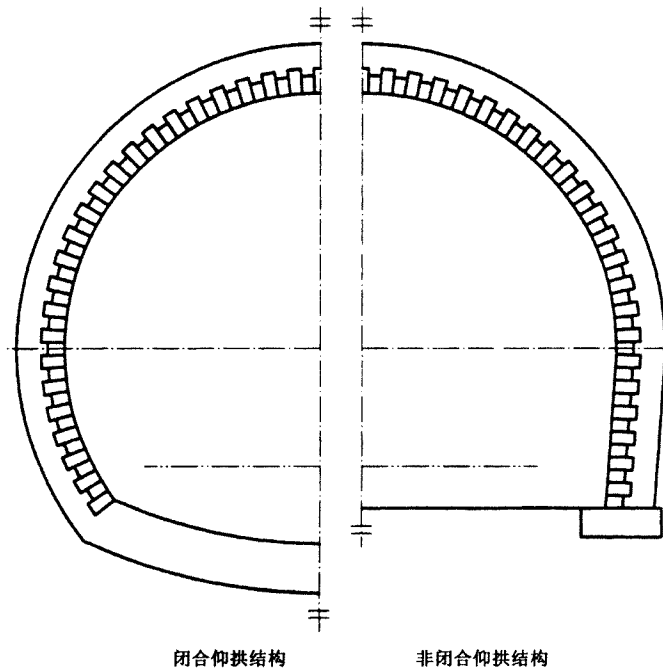


图 B.1 砖石结构隧道

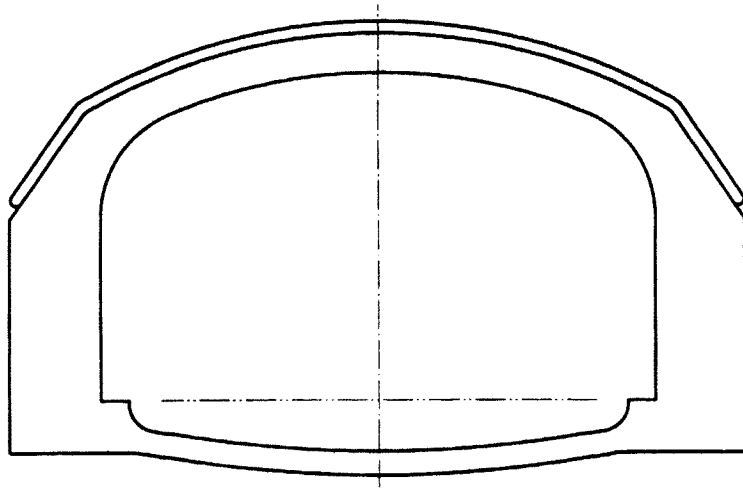


图 B.2 混凝土结构隧道

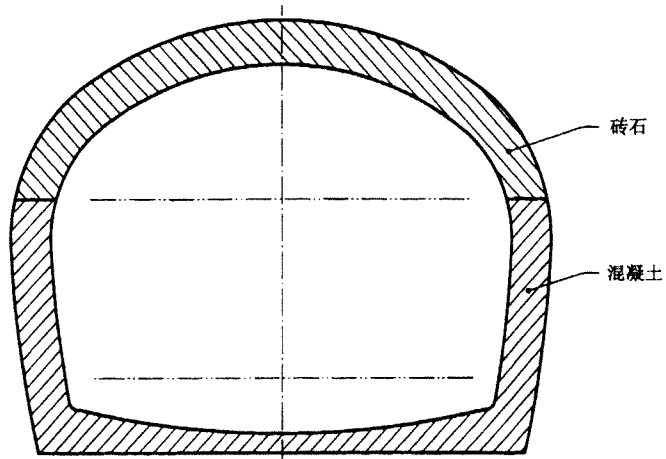


图 B.3 混合砖石结构隧道

B.1.1.2 金属构件隧道

由一段浇注弧形块构成(在内弧面或嵌于混凝土),有或没有仰拱结构(见图 B.4 和 B.5)。

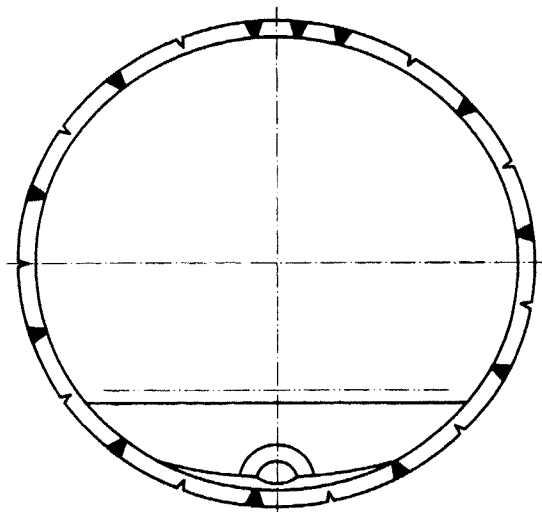


图 B.4 内弧面浇注弧形块隧道

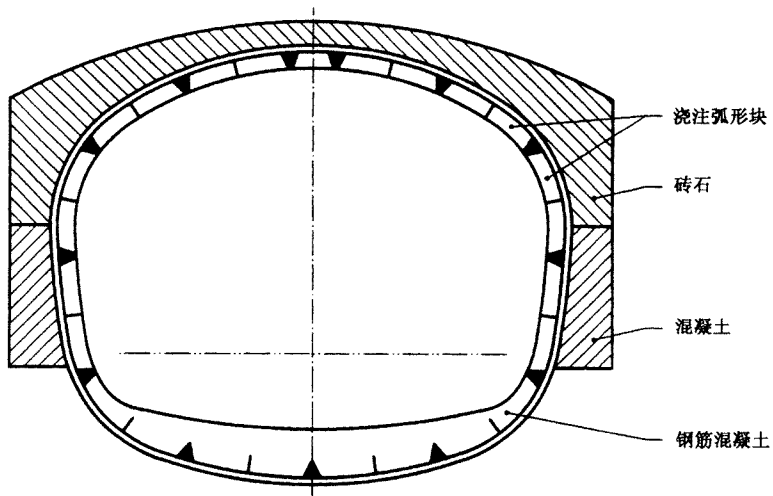


图 B.5 浇注弧形块隧道

B.1.2 明洞

B.1.2.1 拱顶结构

由岩块(在底层或非底层)或混凝土建造,有或没有仰拱结构(见图 B.6)。

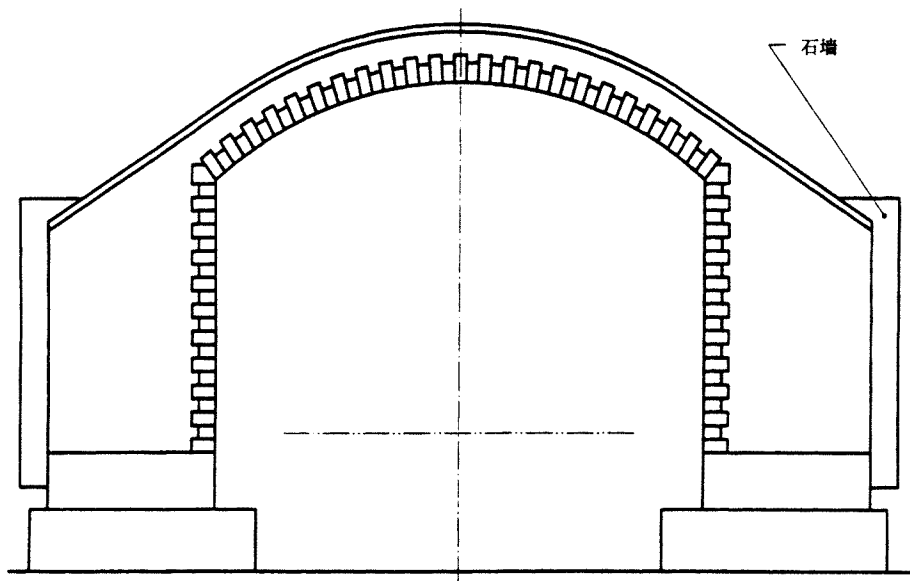


图 B.6 地面砖石隧道

B.1.2.2 平顶结构

可能会有金属顶,有的没有封顶结构(见图 B.7),有的有封顶的钢筋混凝土结构(见图 B.8)。

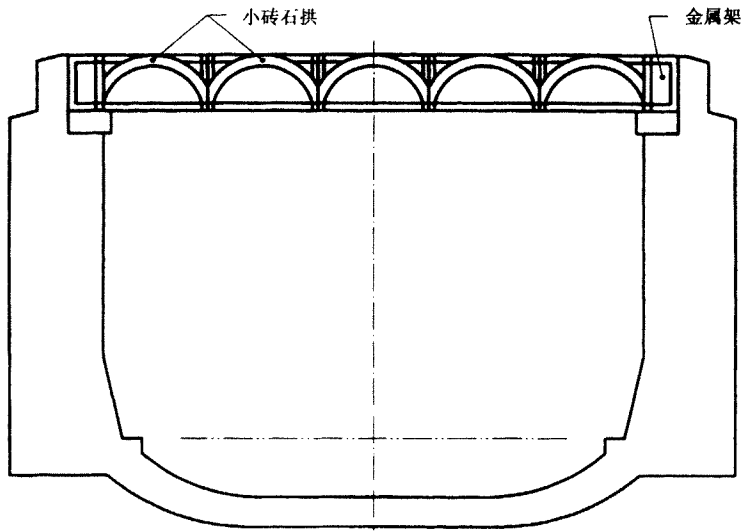


图 B.7 金属顶隧道

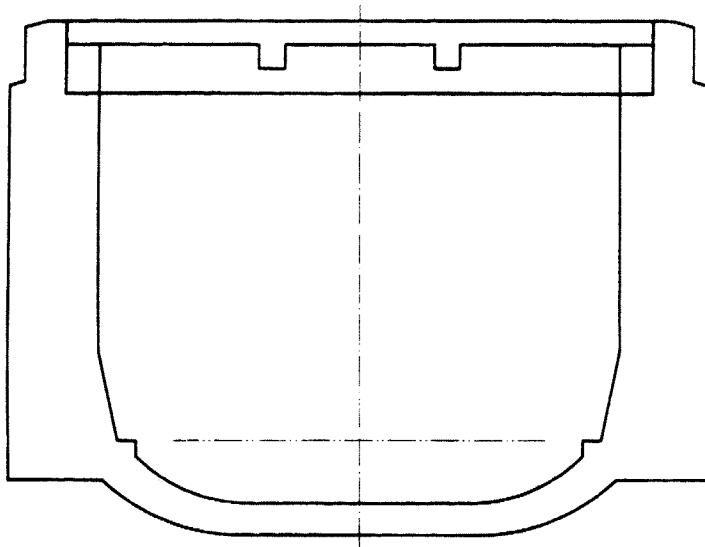


图 B.8 混凝土顶隧道

B.1.3 明挖结构

有钢结构或钢格栅支撑(见图 B.9),或者为钢筋混凝土结构。

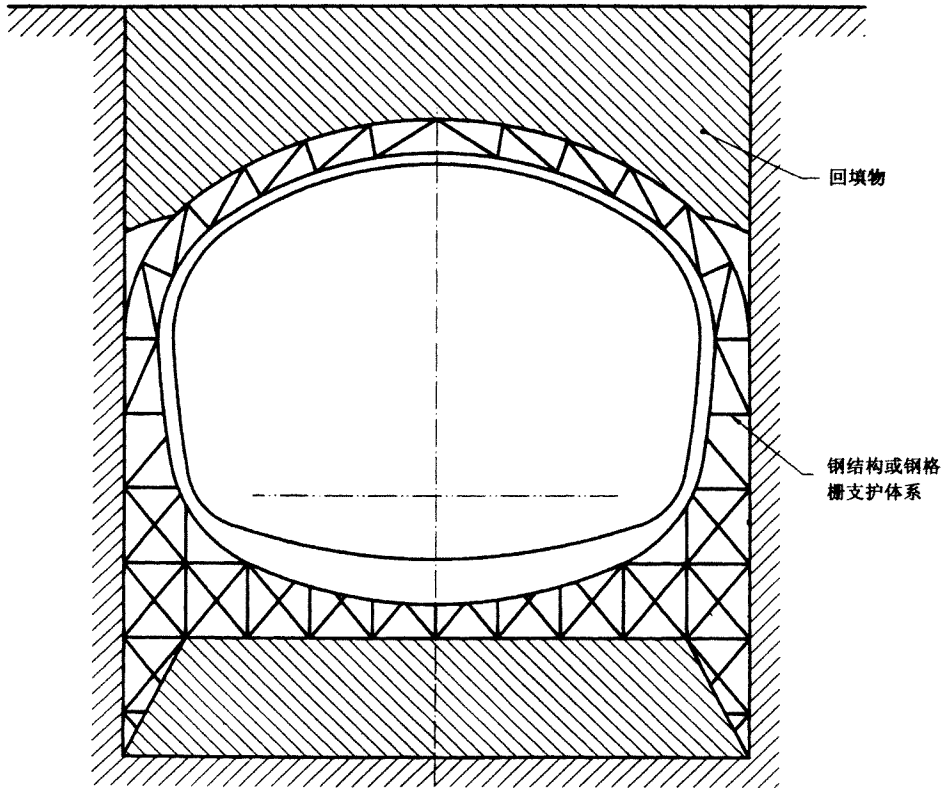


图 B.9 钢混结构浅埋隧道

B.2 近代隧道(1960年之后修建)

B.2.1 深埋隧道

B.2.1.1 现浇混凝土隧道

用混凝土(见图 B.10)或钢筋混凝土(无支撑拱或有钢筋)建造,具有或不具有仰拱封闭结构(见图 B.11)。

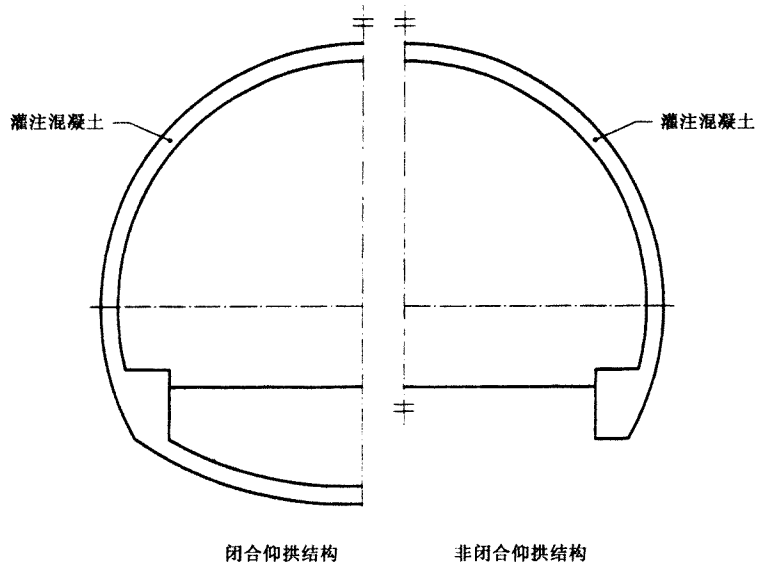


图 B.10 现浇混凝土隧道

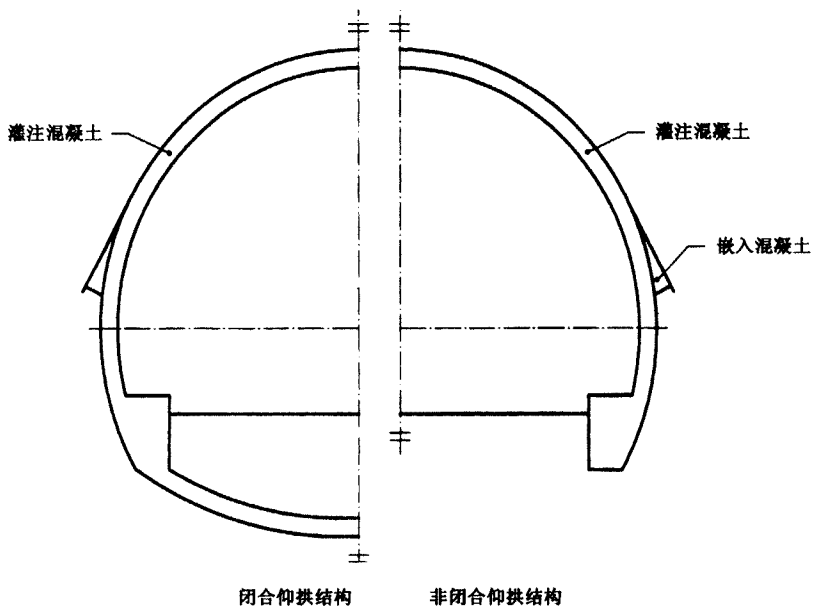


图 B.11 现浇混凝土无支撑拱隧道

B.2.1.2 预制构件隧道

这些隧道可能全采用预制构件,有金属拱段或钢筋混凝土段(见图 B.12),或者只有预制仰拱(为弧段或钢筋混凝土拱),有或没有封闭仰拱结构(见图 B.13)。

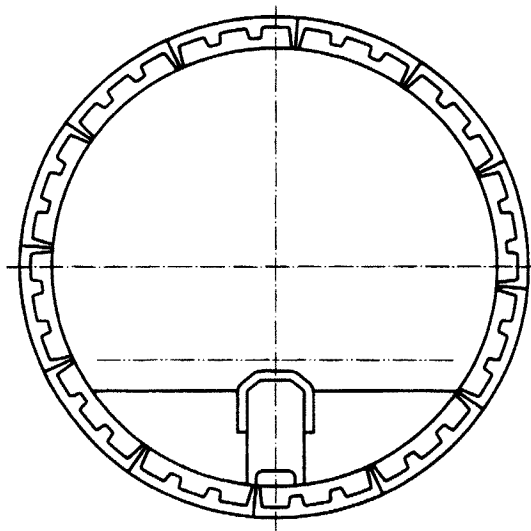


图 B.12 钢筋混凝土弧段隧道

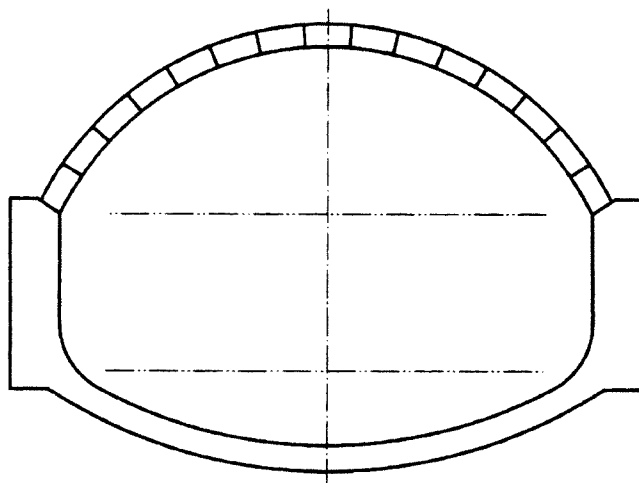


图 B.13 具有钢筋混凝土弧段的混凝土隧道

B.2.2 浅埋隧道

B.2.2.1 拱形结构

这些隧道可由混凝土或钢筋混凝土建造,有或者没有封顶结构(见图 B.14)。

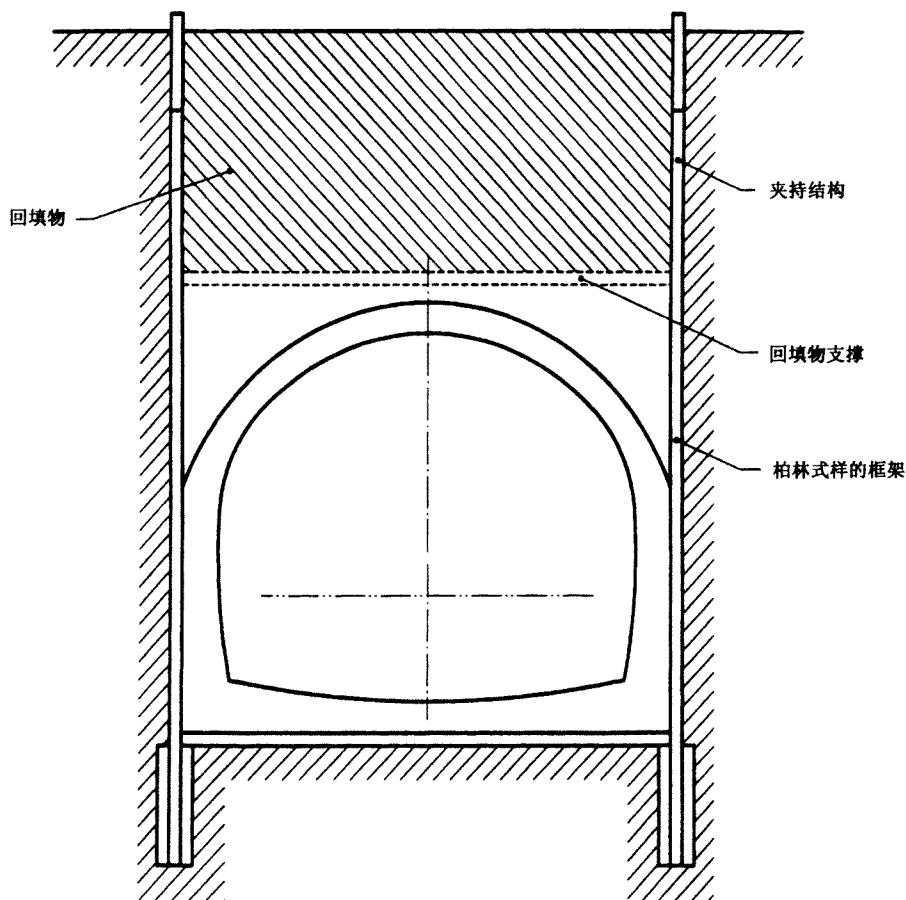


图 B.14 浅埋钢筋混凝土隧道

B.2.2.2 矩形结构(钢筋混凝土)

这些隧道可以是开敞的(没加预应力的钢筋混凝土板),或者是封闭的(加有预应力的钢筋混凝土板)(见图 B.15 到 B.17)。

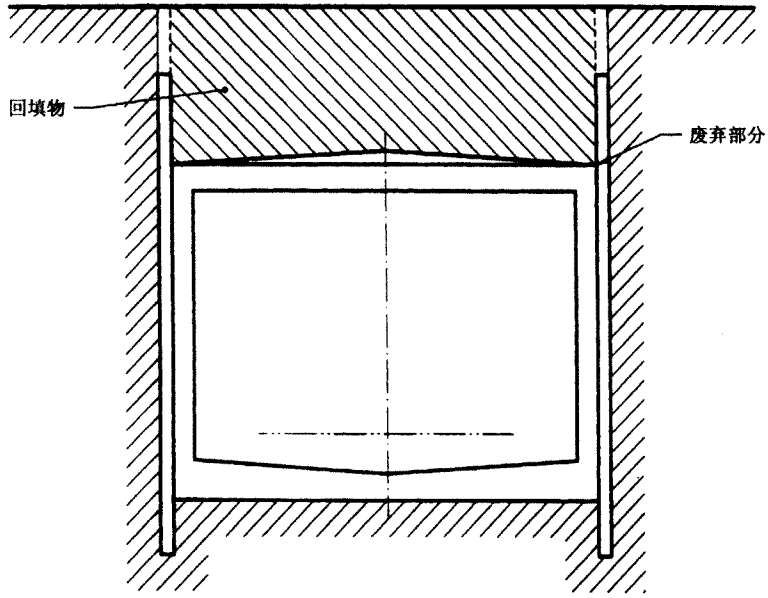


图 B.15 浅埋矩形钢筋混凝土结构

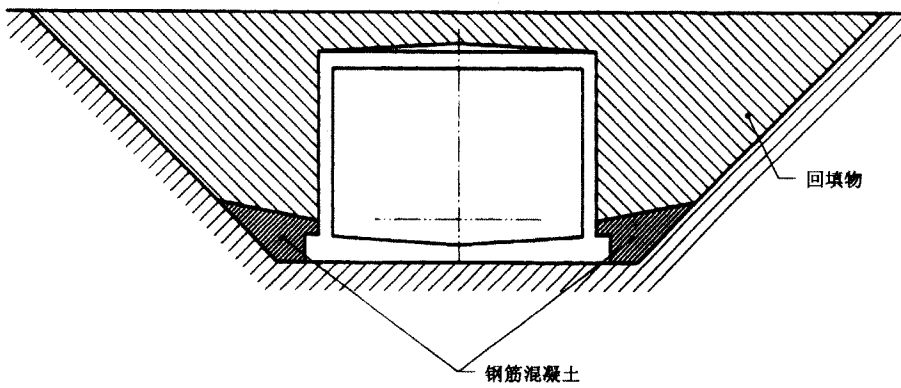


图 B.16 浅埋矩形钢筋混凝土板结构

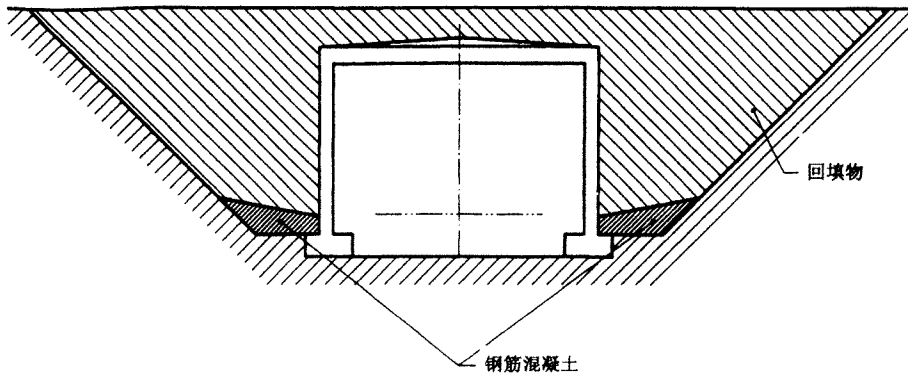


图 B.17 浅埋矩形钢筋混凝土无底板结构

B.2.3 沉管隧道

见图 B.18。

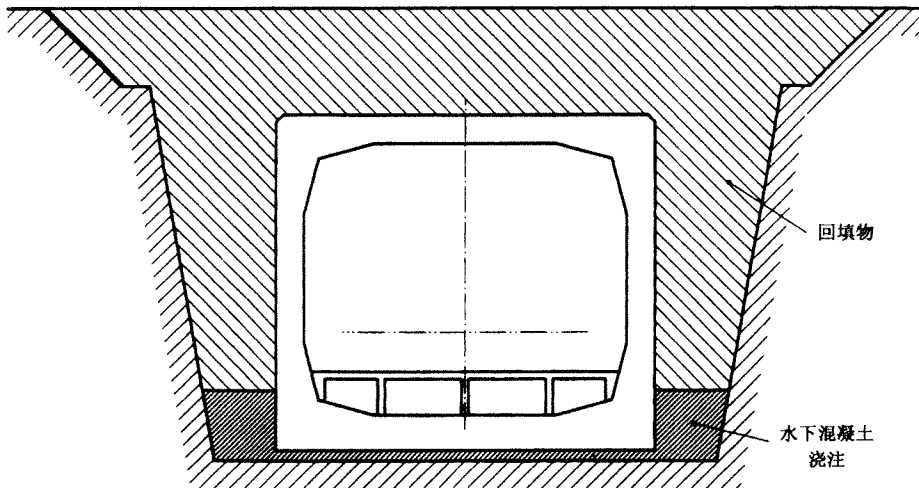


图 B.18 钢筋混凝土沉管隧道

参 考 文 献

- [1] DIN 4150-3:1986, Erschütterungen im Bauwesen—Einwirkungen auf bauliche Anlagen. (German Standard, also available in English: Structural vibration in buildings—Effects on structures.)
 - [2] ORE D 151 RP 8. Rapport d'Office de recherches et d'essais de l'UIC, Utrecht
 - [3] FREDERICK, C. O. Railway-induced ground vibrations. Journal Rail International, October 1987
 - [4] CAPPONI, G. F. Metropolitana di Milano—Attenuazione delle vibrazioni su armamenti sperimentali. Ingegneria Ferroviaria, April 1977
 - [5] BENDAT, J. S. Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis. John Wiley, 1980
 - [6] GRIFFIN And STANWORTH. Track Technology. Thomas Telford, London, 1985, Chap. 17
-