

装：松索应按拱脚段扣索、次拱脚段扣索、起重索的先后顺序。

### 3.5.2.3 转体施工 ★

1. 转体施工分为平转法、竖转法、平竖结合法。
2. 平转法分为有平衡重转体施工和无平衡重转体施工两种方法，平转施工主要适用于刚构梁式桥、斜拉桥、钢筋混凝土拱桥、钢管拱桥。
3. 竖转法主要适用于转体重量不大的拱桥或某些桥梁预制部件（塔、斜腿、劲性骨架）。
4. 有平衡重转体施工的特点是转体重量大。
5. 有平衡重转体：对跨径较大、转动体系重心较高的拱桥，宜采用环道与中心支承相结合的转盘结构；对中、小跨径的拱桥，可采用中心支承的转盘结构。
6. 有平衡重转体：扣索张拉到位、拱圈卸架后，应有24h的观测阶段。
7. 有平衡重转体：转体合龙应在当日最低温度时进行。合龙应严格控制拱肋的高程和轴线。
8. 无平衡重转体主要适用于大跨度拱桥施工。



重转体：合龙口混凝土达到设计强度的 85% 后，应按对称均衡的原则，

### 3.5.2.4 钢管混凝土拱 ★

1. 钢管拱肋制造完成后，应在厂内进行不少于 三 个安装节段的试拼装。
2. 钢管混凝土拱：拱肋节段的对接接头宜与母材等强度焊接。所有焊缝均应进行外观检查，焊缝内部质量应达到 II 级以上标准，熔透焊缝应进行 100% 的 超声波探伤。
3. 钢管混凝土拱：混凝土应采用 泵送顶升压注 施工。压注前应先 清洗 内管，润湿管壁并泵入适量 水泥浆，然后再正式压注混凝土。
4. 钢管混凝土拱：应由 拱脚 至 拱顶 对称、均衡地压注混凝土，有腹箱的断面应先 管后腹。压注应连续进行， 不得中断。
5. 钢管混凝土拱：缀板间的混凝土 不宜 采用压注施工。



1. 斜拉桥由梁、塔、索三种基本构件组成桥梁结构体系。
2. 斜拉桥按主梁的受力状态分为漂浮体系、支承体系、塔梁固结体系、刚构体系。  

3. **漂浮体系**：塔墩固结、塔梁分离，主梁除两端有支承外，其余全部为拉索悬吊的多点弹性支承的单跨梁。
4. **支承体系**：塔墩固结、塔梁分离，主梁在墩、塔处均设有支座，为具有多点弹性支承的三跨连续梁，所有墩上支座均不约束纵向位移的称为半漂浮体系。
5. **塔梁固结体系**：塔梁固结并支承在墩上，梁的内力和挠度同主梁与塔柱的弯曲刚度比值有关，这种体系的连续支座至少有一个为纵向固定。
6. **刚构体系**：梁塔墩互为固结，形成跨度内具有多点弹性支承的刚构。
7. 斜拉桥的索塔施工时，应对其平面位置、倾斜度、应力、线形进行监测和控制。
8. 斜拉桥的上部结构施工时，应对其施工过程中的索力、高程、索塔偏位进行监测和控制。



裸塔宜用爬模法施工，横梁较多的高塔宜用劲性骨架挂模提升法施工。

## 10. 斜拉桥

裸塔现浇施工主要采用翻模、滑模、爬模方法。

11. 翻模：应用较早，施工简单，能保证几何尺寸（包括复杂断面），外观整洁。但模板高空翻转，操作危险，沿海地区不宜用此法。

12. 滑模：施工速度快，劳动强度小，但技术要求高，施工控制复杂，外观质量较差，且易污染。一般倾斜度较大，预留孔道及埋件多的索塔不宜用此法。

13. 爬模：兼有滑模和翻模的优势，适用于斜拉桥一般索塔的施工。施工安全，质量可靠，修补方便。国内外大多采用此法。

14. 索塔施工机械设备一般包括起重设备、施工电梯、安全通道，还有混凝土浇筑设备、供水设备、混凝土养护设备等。

15. 斜拉桥索塔施工：泵管宜设在施工电梯旁。

16. 斜拉桥混凝土索塔的施工：宜采取适当措施缩短塔座与承台、塔柱与塔座之间浇筑混凝土的间隔时间，间歇期宜≤15d。

17. 斜拉桥：索塔与主梁不宜同时交叉施工，必须交叉施工时应采取保证质量和施工安全的措施。索塔塔柱施工时宜设置劲性骨架以保证钢筋架立、模板安装和拉索预埋导管空间定位的精度；劲性骨架宜采用型钢制作。



桥横梁施工应设置可靠的支架系统。体积过大的横梁可沿高度方向分次浇筑，但分次浇筑的间隔时间宜 $\leq 15d$ 。

19. 斜拉桥塔柱和横梁可同步施工或异步施工，异步施工时塔柱与横梁之间浇筑混凝土的间隔时间应 $\leq 30d$ 。

20. 斜拉桥主梁施工方法大体分四种：悬臂法、支架法、顶推法、平转法。

21. 对大跨度斜拉桥，宜采用无应力索长和索力双控的方法，且宜以索长控制为主，以索力作为校核。

### 3.5.4 悬索桥施工 ★★★

1. 悬索桥主要结构由主缆、索塔、锚碇、吊索、加劲梁组成。

2. 悬索桥分类：按主缆锚固方式分为地锚式和自锚式悬索桥。大多数悬索桥采用地锚式。

3. 悬索桥施工主要工序包括：基础施工→塔柱和锚碇施工→先导索渡海工程→牵引系统和猫道系统→猫道面层和抗风缆架设→索股架设→索夹和吊索安装→加劲梁架设和桥面铺装。

的锚碇按受力形式的不同可分为重力式锚碇、隧道式锚碇、岩锚。

5. 悬索桥的重力式锚碇由基础、锚体、锚固系统三部分组成。
6. 悬索桥主缆索股锚固系统按使用材料、结构构造和传力机理，可分为型钢锚固系统和预应力锚固系统两种类型。
  7. 悬索桥主缆型钢锚固系统一般由锚杆、锚梁、支撑架三部分组成。
  8. 悬索桥主缆预应力锚固系统根据材料不同，分为预应力钢绞线锚固系统和预应力粗钢筋锚固系统。
  9. 国内大跨度悬索桥塔身主要采用钢筋混凝土塔，国外主要采用钢塔。
  10. 悬索桥主索鞍施工程序：安装塔顶门架→钢框架安装→吊装上下支承板→吊装鞍体等。
    11. 悬索桥常用的牵引系统有循环式和往复式两种。
    12. 悬索桥猫道的线形宜与主缆空载时的线形基本平行。猫道的扶手高宜为1.5m。猫道间宜设置若干条横向人行通道。
    13. 悬索桥施工：主缆架设完成、加劲梁安装前，应将猫道改挂于主缆上，改挂前应拆除横向通道。
    14. 悬索桥主缆架设方法主要有空中纺丝法（AS法）和预制平行索股法（PPWS



15. 悬索桥主缆的紧缆应分为预紧缆和正式紧缆两阶段进行。

16. 悬索桥预紧缆应在温度稳定的夜间且将主缆全长分为若干区段分别进行。

17. 悬索桥正式紧缆时，应采用紧缆机将主缆挤压整形成圆形，其作业可在白天进行。

18. 悬索桥主缆缠丝工作宜在二期恒载完成后进行。

19. 悬索桥主缆的防护涂装宜在桥面铺装完成后进行。

20. 悬索桥索夹螺栓的紧固应按安装时、加劲梁吊装后、全部二期恒载完成后三个荷载阶段分步进行。

21. 悬索桥施工：在主索鞍的钢格栅定位前，应对索塔裸塔进行36h连续变形观测。

22. 悬索桥施工：主缆架设安装过程中，对基准索股的连续监测应 $\geq 3d$ ，对索塔和锚碇的沉降及位移监测应 $\geq 3$ 次。

23. 悬索桥施工：索夹安装前，对主缆的线形以及两侧主缆的相对误差，应进行 $\geq 3d$ 的连续观测。

24. 悬索桥施工：每一节段加劲梁吊装后，均应对索塔和锚碇的沉降及变位、主



劲梁的线形等进行监测。

### 3.6 桥面及附属工程

#### 3.6.1 支座与伸缩装置施工 ★★

1. 支座应存放在干燥通风的库房内，不得直接置于地面，应垫高堆放整齐，保持清洁；支座不得与酸、碱、油类和有机溶剂等相接触，且应距热源至少 1m 以上。
2. 调整支座的顶面高程时，应采用钢垫片对支座进行支垫，支垫处在支座安装完成后留下的空隙应采用环氧树脂砂浆填实。
3. 梁、板的就位应准确且其底面应与支座顶面密贴，否则应将梁、板吊起，对支座进行重新调整安装；梁、板安装时不得采用撬棍移动梁、板的方式进行就位。
4. 盆式支座的安装施工应符合下列规定：活动支座安装前应采用适宜的清洁剂擦洗各相对滑移面，擦净后应在四氟滑板的储油槽内注满硅脂类润滑剂。
5. 伸缩装置宜在桥面铺装施工完成后，采用反开槽的方式进行安装。
6. 伸缩装置安装前，应按现场的实际气温调整其安装定位值。



## 装与防排水施工 ★★

1. 沥青混凝土桥面铺筑前应洒布粘层沥青。
2. 应采用无损检测法检测钢桥面沥青混凝土铺装质量，不得采用钻孔法。
3. 铺设桥面防水层时应符合下列规定：防水层不宜在雨天或低温下铺设。防水层施工完成但未达到规定的时间，不得开放交通。

## 3. 6. 3 桥面防护设施与桥头搭板施工 ★★

1. 防撞护栏应在桥面两侧对称施工。
2. 就地现浇的防撞护栏宜在顺桥向每间隔 5~8m 设一道断缝或假缝；温差较大的地区，断缝或假缝的设置间距宜再适当减小。
3. 混凝土防撞护栏：宜采用坍落度较低的干硬性混凝土，浇筑时应分层进行，分层厚度宜不超过 200mm；振捣时应采取适当措施使模板表面的气泡逸出。
4. 桥头搭板施工：台后地基如为软土，预压应在搭板施工前完成。
5. 钢筋混凝土桥头搭板：钢筋混凝土搭板及枕梁宜采用就地浇筑的方式施工。



混凝土桥头搭板：浇筑搭板混凝土时应按搭板的坡度由低处向高处进行。

### 3.7 桥梁工程质量通病及防治措施

1. 钢筋混凝土梁桥预拱度偏差防治措施：控制张拉的试块应与梁板同条件养护。钢绞线伸长值计算应采用同批钢绞线弹性模量的实测值。

### 3.8 桥梁工程改（扩）建

#### 3.8.1 桥梁工程改（扩）建施工 ★

1. 钢筋混凝土实心板和预应力混凝土空心板桥，新旧板梁拼接之间宜采用铰接或近似于铰接连接。

2. 预应力混凝土 T 形梁或组合 T 形梁桥，新旧 T 形梁之间拼接宜采用刚性连接。

3. 连续箱梁桥，新旧箱梁之间拼接宜采用铰接连接。



## 第4章 隧道工程

## 4.1 隧道围岩分级与隧道构造

## 4.1.1 隧道围岩分级 ★★★

1. 隧道围岩分级是设计、施工的基础。
2. 施工方法的选择、衬砌结构类型及尺寸的确定、隧道施工劳动定额、材料消耗标准的制定都要以围岩分级作为主要依据。
3. 英译汉：BQ 岩体基本质量指标、[BQ] 岩体修正质量指标
4. 根据岩石的坚硬程度和岩体完整程度两个定性特征和定量的岩体基本质量指标 BQ，进行初步分级。
5. 岩质围岩细化定级时，应根据地下水、主要软弱结构面、初始应力状态的影响程度，对岩体基本质量指标 BQ 进行修正。
6. 现场实践中，多以工程类比法或经验法判定围岩级别。



构造 ★★★

1. 隧道结构构造，由主体构造物和附属构造物两大类组成。主体构造物通常指洞身衬砌和洞门构造物。

2. 公路隧道按跨度分类：小跨度隧道  $B < 9m$ 、一般跨度隧道  $9 \leq B < 14m$ 、中等跨度隧道  $14 \leq B < 18m$ 、大跨度隧道  $B \geq 18m$ 。

3. 公路隧道按长度分类：特长隧道  $L > 3000m$ 、长隧道  $1000m < L \leq 3000m$ 、中隧道  $500m < L \leq 1000m$ 、短隧道  $L \leq 500m$ 。

4. 公路隧道的洞门形式主要有两类：端墙式洞门、明洞式洞门。

5. 端墙式洞门包括：墙式洞门、翼墙式洞门、台阶式洞门、柱式洞门、拱墙式洞门。

6. 洞门端墙和翼墙应具有抵抗来自仰坡、边坡土压力的能力。

7. 洞门墙墙身最小厚度不应小于  $0.5m$ ，翼墙墙身厚度不应小于  $0.3m$ 。

8. 洞顶仰坡与回填顶面的交线至洞门端墙墙背的水平距离不宜小于  $1.5m$ ；洞顶排水沟沟底至拱顶衬砌外缘的最小厚度不应小于  $1.0m$ ；洞门端墙墙顶应高出墙背回填面  $0.5m$ 。



应根据需要设置伸缩缝、沉降缝和泄水孔。

10. 洞门端墙基础应置于稳固地基上，并埋入地面下一定深度。嵌入岩石地基的深度不应小于 0.2m；埋入土质地基的深度不应小于 1.0m。基底埋置深度应大于靠墙设置的各种沟、槽底的埋置深度。地基为冻胀土层时，基底高程应在最大冻结深度以下不小于 0.25m。

11. 明洞式洞门构造应符合下列规定：洞口段衬砌应采用钢筋混凝土结构。洞口段衬砌应伸出原山坡坡面或设计回填坡面不小于 500mm。采用削竹式洞门时，削竹面仰斜坡率应陡于或等于原山坡坡率或设计回填坡面坡率。设计回填坡面宜按自然山坡坡度回填。采用土石回填时，坡率不宜陡于 1:1，表面宜植草覆盖。

12. 明洞结构类型分为拱形明洞和矩形明洞。

13. 当拱形明洞侧压力较大或地基承载力不足时，应设仰拱。

14. 在地质条件有明显变化的地段，应设置沉降缝；气温变化较大地区，可根据明洞长度设置伸缩缝。

15. 隧道衬砌形式主要有锚喷衬砌、整体式衬砌和复合式衬砌。

16. 隧道衬砌：按隧道断面形状分为曲墙式、直墙式和连拱式等。

17. 二级公路隧道应采用复合式衬砌；三级及三级以下公路的隧道洞口段、IV~

段应采用复合式衬砌或整体式衬砌，I~III级围岩洞身段可采用喷锚衬砌。

18. 洞口段应设加强衬砌，两车道隧道不应小于10m。

19. 围岩较差地段衬砌应向围岩较好地段延伸5~10m。

20. 偏压衬砌段应向一般衬砌段延伸，延伸长度应根据偏压情况确定，不宜小于10m。

21. 净宽大于3.0m的横通道与主洞的交叉段，主洞与横通道衬砌均应加强。加强段衬砌应向各交叉洞延伸，主洞延伸长度不应小于5.0m，横通道延伸长度不应小于3.0m。延伸长度范围内不宜设变形缝。

## 4.2 隧道地质超前预报和监控量测技术

### 4.2.1 隧道地质超前预报 ★★

1. 隧道地质超前预报方法主要有：地质调查法、超前钻探法、物理勘探法、超前导洞法、水力联系观测。

2. 地质调查法是隧道施工超前地质预报的基础，适用于各种地质条件隧道，调



隧道地表补充地质调查和隧道内地质素描。

3. 物理勘探法适用于长、特长隧道或地质条件复杂隧道的地质超前预报，主要包括弹性波反射法、地质雷达法、陆地声呐法、红外探测法、瞬变电磁法、高分辨直流电法。

4. TSP 法适用于各种地质条件，对断层、软硬接触面等面状结构反射信号较为明显。

5. 地质雷达法适用于岩溶、采空区探测，也可用于探测断层破碎带、软弱夹层等不均匀地质体。

6. 富水构造破碎带、富水岩溶发育地段、煤系或油气地层、瓦斯发育区、采空区以及重大物探异常地段等地质复杂隧道和水下隧道必须采用超前钻探法预报、评价前方地质情况。

7. 超前导洞法可采用平行超前导洞法和隧道内超前导洞法，两座并行隧道可根据先行开挖的隧道预测后开挖隧道的地质条件。

8. 当隧道排水或突涌水对地下水资源或周围建（构）筑物产生重大影响时，应进行水力联系观测。

9. 短距离预报：预报长度小于 30m，可采用地质调查法、地质雷达法及超前钻



10. 中距离预报：预报长度大于或等于 30m 并小于 100m，可采用地质调查法、弹性波反射法及超前钻探法等。

11. 长距离预报：预报长度大于或等于 100m，可采用地质调查法、弹性波反射法及超前钻探法等。

#### 4.2.2 隧道施工监控量测技术 ★★★

1. 隧道开工前，应编制施工全过程监控量测方案。内容应包括：量测项目、量测仪器选择、测点布置、量测频率、数据处理、信息反馈、组织机构、管理体系等。
2. 隧道施工监控量测技术：现场量测分为必测项目和选测项目两大类。
3. 隧道现场监控量测必测项目包括：洞内外观察、周边位移、拱顶下沉、地表下沉、拱脚下沉。
4. 隧道洞内外观察使用工具：现场观测、地质罗盘。
5. 隧道周边位移量测使用工具：收敛计、全站仪。
6. 复合式衬砌和喷锚衬砌隧道施工时必须进行必测项目的量测。



测项目，各测点宜在靠近掌子面、不受爆破影响范围内尽快安设，初读数应在每次开挖后 12h 内、下一循环开挖前取得，最迟不得超过 24h。

8. 洞内必测项目各测点应埋入围岩中，深度不应小于 0.2m，不应焊接在钢架上，外露部分应有保护装置。

9. 各项量测作业均应持续到量测断面开挖支护全部结束，临时支护拆除完成，且变形基本稳定后 15~20d。

10. 当位移 - 时间曲线出现反弯点时，则表明围岩和支护已呈不稳定状态，此时应密切监视围岩动态，并加强支护，必要时暂停开挖。

11. 隧道监控量测位移管理等级：U-实测位移值； $U_0$ -设计极限位移值

12. 隧道监控量测：管理等级Ⅲ： $U < (U_0/3)$ ，施工状态：可正常施工

13. 隧道监控量测：管理等级Ⅱ： $(U_0/3) \leq U \leq (2U_0/3)$ ，施工状态：应加强支护

14. 隧道监控量测：管理等级Ⅰ： $U > (2U_0/3)$ ，施工状态：应采取特殊措施



### 4.3.1 隧道施工准备与施工测量 ★★

1. 隧道开工前，应完成分项工程划分、先期工程施工方案编制、混凝土配合比设计等技术准备工作。

2. 隧道施工测量：控制测量总体应符合以下规定：测量工作中的各项计算，均应由两组独立进行。隧道洞外控制测量应在隧道进洞施工前完成。

3. 隧道施工测量：贯通误差测定及调整：贯通长度  $L < 3000\text{m}$  的横向贯通误差限值  $\leq 150\text{mm}$ ，高程中误差  $\leq 70\text{mm}$ 。

4. 隧道施工测量：交（竣）工测量：应提交贯通测量技术成果书、贯通误差的实测成果和说明、净空断面测量和永久中线点、水准点的实测成果及示意图。

### 4.3.2 隧道洞口、明洞施工 ★★★

1. 隧道洞口开挖应遵循“早进晚出”的原则。

2. 洞口边坡及仰坡应自上而下开挖，不得掏底开挖或上下重叠开挖。



挖与防护规定：宜采用人工配合机械开挖，或者采用控制爆破措施减少对边仰坡及围岩的扰动。

4. 洞口截、排水设施应在雨季和融雪期之前完成。

5. 洞口截、排水设施规定：截水沟迎水面不得高于原地面。

6. 洞门墙宜在洞口衬砌施工完成后及时施作。

7. 洞门墙背排水设施应与洞门墙同步施工。

8. 明洞边墙基础施工规定：基础开挖应核对地质条件，检测地基承载力。当地基不满足设计要求时，应及时上报监理、设计单位，并按设计单位提供的处理方案施工。

9. 明洞拱背回填应在外模拆除、防水层和排水盲管施工完成后进行；人工回填时，拱圈混凝土强度应不小于设计强度的 75%。机械回填时，拱圈混凝土强度应不小于设计强度。

10. 明洞两侧回填水平宽度小于 1.2m 的范围应采用浆砌片石或同级混凝土回填。

11. 明洞回填施工规定：回填材料不宜采用膨胀岩土。

12. 明洞回填施工规定：回填顶面 0.2m 可用耕植土回填。

13. 明洞土石回填应对称分层夯实，分层厚度不宜大于 0.3m，两侧回填高差不



回填到拱顶以上 1.0m 后，方可采用机械碾压。

14. 单侧设有反压墙的明洞回填应在反压墙施工完成后进行。

15. 明洞回填施工规定：回填时不得倾填作业。

16. 围岩自稳能力差的浅埋段，可选择地表降水、地表加固、管棚、超前小导管、预注浆等辅助工程措施。

17. 浅埋隧道应加强初期支护和减小爆破振动，及时施作初期支护，尽早施作二次衬砌。

#### 4. 3. 3 隧道开挖 ★★★

1. 全断面法：按设计断面一次基本开挖成形的施工方法。

2. 台阶法：先开挖上半断面，待开挖至一定距离后再同时开挖下半断面，上下半断面同时并进的施工方法。

3. 【补充】台阶长度：超短台阶 3~5m；短台阶 5~50m；长台阶 (>50m)。

4. 环形开挖预留核心土法：先开挖上台阶成环形，并进行支护，再分部开挖中部核心土、两侧边墙的施工方法。



法：在软弱围岩大跨隧道中，先开挖隧道的一侧，施作中隔壁墙，然后分部开挖隧道另一侧的施工方法。

6. 英译汉：（CD 法）中隔壁法

7. 交叉中隔壁法：是一种在中隔壁法的基础上增加临时仰拱，更快地封闭初支的施工方法。

8. 英译汉：（CRD 法）交叉中隔壁法

9. 双侧壁导坑法：先开挖隧道两侧的导坑，进行初期支护，再分部开挖剩余部分的施工方法。

10. 全断面法施工应符合的要求：循环进尺：III 级围岩宜控制在 3m 左右，I、II 级围岩，使用气腿式凿岩机时可控制在 4m 左右。

11. 台阶法施工应符合的要求：台阶开挖高度宜为 2.5~3.5m。台阶数量可采用二台阶或者三台阶，不宜大于三个台阶。

12. 台阶法施工应符合的要求：上台阶开挖每循环进尺，III 级围岩宜不大于 3m；IV 级围岩宜不大于 2榀钢架间距；V 级围岩宜不大于 1榀钢架间距。IV、V 级围岩下台阶每循环进尺宜不大于 2榀钢架间距。

13. 台阶法施工应符合的要求：下台阶单侧拉槽长度宜不超过 15m。



14. 台阶法施工应符合的要求：下台阶左、右侧开挖宜前后错开 3~5m，同一榀钢架两侧不得同时悬空。

15. 台阶法施工应符合的要求：下台阶应在上台阶喷射混凝土强度达到设计强度的 70% 以后开挖。

16. 环形开挖留核心土法施工应符合的要求：环形开挖每循环进尺，V 级围岩宜不大于 1 榀钢架间距，IV 级围岩宜不大于 2 榀钢架间距。中下台阶每循环进尺不得大于 2 榀钢架间距。核心土面积不小于断面面积的 50%。

17. 环形开挖留核心土法施工应符合的要求：拱部超前支护完成后，方可开挖上台阶环形导坑；留核心土长度宜为 3~5m，宽度宜为隧道开挖宽度的 1/3~1/2。

18. 环形开挖留核心土法施工应符合的要求：各台阶留核心土开挖每循环进尺宜与其他分部循环进尺相一致。

19. 中隔壁法、交叉中隔壁法施工应符合的要求：开挖进尺不得大于 1 榀钢架间距。

20. 中隔壁法、交叉中隔壁法施工应符合的要求：初期支护完成、强度达到设计规定（100%设计强度）后方可进行下一分部的开挖。

21. 中隔壁法、交叉中隔壁法施工应符合的要求：临时支护拆除宜在仰拱施工前，口碑培训：通关培训哪家强，中国北京老船长。



支护拆除后，应及时浇筑仰拱、填充仰拱、施作拱墙二次衬砌。

22. 交叉中隔壁法：每个台阶底部均应按设计规定及时施作临时钢架或临时仰拱。

23. 交叉中隔壁法：临时支护拆除前后，应进行变形量测。

24. 双侧壁导坑法施工应符合的要求：导坑跨度宜为整个隧道开挖宽度的  $\frac{1}{3}$ 。

25. 双侧壁导坑法施工应符合的要求：导坑与中间土体同时施工时，导坑应超前  $30\sim 50m$ 。

26. 仰拱部位开挖应符合的要求：土和软岩应不大于  $3m$ ，硬岩应不大于  $5m$ 。开挖后应及时施作仰拱初期支护、二次衬砌及填充。

27. 仰拱部位开挖应符合的要求：应做好排水措施，清除底面积水和松渣，严禁松渣回填。

28. 隧道开挖轮廓应根据设计开挖轮廓和围岩变形量确定。

29. 隧道超欠挖控制：拱脚、墙脚以上  $1m$  范围内及净空图折角对应位置严禁欠挖。

30. 隧道超欠挖控制：开挖后宜采用断面仪或激光投影仪直接测定开挖面面积，并绘制断面图。

31. 隧道超欠挖控制：当采用钢架支撑时，如围岩变形较大，支撑可能沉落或局



除时，应适当加大开挖断面，预留支撑沉落量，保证衬砌设计厚度。

32. 拱部丹塌形成的超挖处理应编制方案，经审批后按方案处理。

33. 沿设计轮廓线的均匀超挖。有钢架时，可采用喷射混凝土回填，或增大钢架支护断面尺寸，使钢架贴近开挖轮廓。在施工二次衬砌时，以二次衬砌混凝土回填。无钢架时，可在施工二次衬砌时，以二次衬砌混凝土回填。

34. 局部超挖，超挖量 $\leq 200\text{mm}$ 时，宜采用喷射混凝土回填密实。

35. 边墙部位超挖，可采用混凝土或片石混凝土回填。

36. 隧道工程中常使用的凿岩机有：风动凿岩机、液压凿岩台车。

37. 掘进工作面的炮孔可分为掏槽孔、辅助孔、周边孔。

38. 掏槽炮孔一般要比其他炮孔深 $100\sim 200\text{mm}$ ，以保证爆破后开挖深度的一致。

39. 掏槽孔可分成斜孔掏槽和直孔掏槽两大类。

40. 光面爆破的主要参数包括周边孔的间距、光面爆破层的厚度、周边孔密集系数、周边孔的线装药密度等。

41. 连拱隧道按中墙形式不同分为整体式中墙和复合式中墙两种形式。

42. 连拱隧道开挖要求：主洞开挖时，左右两洞开挖掌子面错开距离宜大于 $30\text{m}$ 。导洞宽度宜大于 $4\text{m}$ 。



## 4.3.4 隧道支护与衬砌 ★★★

1. 隧道施工过程中经常采用的超前支护措施有超前锚杆、插板、超前小导管、管棚、围岩预注浆加固。

2. 超前锚杆主要适用于地下水较少的软弱破碎围岩的隧道工程中，如土砂质地层、弱膨胀性地层、流变性较小的地层、裂隙发育的岩体、断层破碎带、浅埋无显著偏压的隧道等，也适宜于采用中小型机械施工。

3. 超前锚杆宜采用早强砂浆锚杆。

4. 管棚主要适用于围岩压力来得快、来得大、对围岩变形及地表下沉有较严格限制要求的软弱破碎围岩隧道，如土砂质地层、强膨胀性地层、强流变性地层、裂隙发育的岩体、断层破碎带、浅埋有显著偏压等围岩的隧道。

5. 【补充】管棚超前支护施工流程：浇筑导向墙（包括安设导向管）→钻孔→打设管棚钢管→插入钢筋笼→管棚钢管内注浆。

6. 自进式注浆锚杆是将超前锚杆与超前小导管注浆相结合的一种超前措施。

7. 预注浆加固围岩：预注浆一般可超前开挖 30~50m，。



加固围岩有洞内超前注浆、地表超前注浆、平导超前注浆三种方式。

### 9. 初期支护：喷射混凝土工艺有：干喷、潮喷、湿喷。

10. 干喷法是将水泥、砂、石在干燥状态下拌和均匀，用压缩空气送至喷嘴并与压力水混合后进行喷射的方法。

11. 潮喷法是将集料预加少量水，使其呈潮湿状，再加水泥拌和，送至喷嘴处并与压力水混合后进行喷射的方法。

12. 湿喷法是将水泥、砂、石和水按比例拌和均匀，用湿喷机压送至喷嘴进行喷射的方法。

13. 初期支护喷射混凝土：目前施工现场湿喷法使用得较多。

14. 初期支护：喷射混凝土材料应符合的规定：应选择速凝效果好，对喷射混凝土强度和收缩影响小的速凝剂，其初凝时间应不大于3min，终凝时间应不大于12min。

15. 初期支护，喷射混凝土作业应符合的规定：宜采用湿喷工艺。应直接喷在围岩面上，与围岩密贴，受喷面不得填塞杂物。应按初喷和复喷混凝土分别进行，复喷混凝土可分层多次施作。应分段、分片、分层由下而上顺序进行喷射，拱部喷射混凝土应对称作业。

16. 初期支护，喷射混凝土作业应符合的规定：初喷混凝土厚度宜控制在20~



校大凹洼时，可结合初喷找平。

17. 初期支护，喷射混凝土作业应符合的规定：复喷根据喷射混凝土设计厚度、喷射部位和钢架、钢筋网设置情况，可采用一次作业或分层作业。拱顶每次复喷不宜大于 100mm，边墙每次复喷厚度不宜大于 150mm，复喷最小厚度不宜小于 50mm。

18. 初期支护，喷射混凝土作业应符合的规定：后一层应在前一层喷射混凝土终凝后进行。若终凝后初喷混凝土表面已蒙上粉尘时，后一层喷射混凝土作业前，受喷面应吹洗干净。

19. 初期支护，喷射混凝土作业应符合的规定：喷射喷嘴宜垂直岩面，喷枪头到受喷面的距离宜为 0.6~1.5m。

20. 初期支护，喷射混凝土作业应符合的规定：不得挂模喷射。

21. 初期支护，喷射混凝土作业应符合的规定：混凝土回弹物不得重新作喷射混凝土材料。

22. 初期支护，喷射混凝土养护应符合的规定：喷射混凝土终凝 2h后应进行养护，养护时间不应小于 7d。隧道内环境日均温度低于 5℃时不得洒水养护。

23. 初期支护，喷射混凝土，冬期施工应符合的规定：喷射混凝土作业区的气温不宜低于 5℃。结冰的层面上不得进行喷射混凝土作业。喷射混凝土强度未达到 6MPa



喷射混凝土在洞内拌和时，喷射混凝土材料应提前运进洞内。

24. 初期支护锚杆按照锚固形式可划分为全长粘结型、端头锚固型、摩擦型、预应力型四种。

25. 初期支护，锚杆钻孔应符合的规定：锚杆孔宜采用锚杆钻孔机或（多臂）钻孔台车钻孔。局部锚杆应与岩层层面或主要结构面成大角度相交。

26. 初期支护，砂浆锚杆安装施工应符合的规定：应配有止浆塞、垫板和螺母等配件。锚杆砂浆应拌和均匀、随拌随用，已初凝的砂浆不得使用。

27. 初期支护，砂浆锚杆安装施工应符合的规定：锚杆孔灌浆时，灌浆管应插至距孔底50~100mm处，随砂浆的灌入缓慢、匀速拔出。

28. 初期支护，砂浆锚杆安装施工应符合的规定：灌浆后应及时插入锚杆杆体。锚杆杆体插到设计深度时，孔口应有砂浆流出。孔口无砂浆流出或杆体插不到设计深度时，应将杆体拔出，清孔，重新安装。

29. 锁脚锚杆安装应符合的规定：安装位置应在钢架连接钢板以上 100~300mm。采用型钢钢架时设于钢架两侧；采用格栅钢架时设在钢架主筋之间。

30. 锁脚锚杆安装应符合的规定：锁脚锚杆杆体可采用螺纹钢或钢管，采用钢管时管内应注满砂浆。



锁脚锚杆安装应符合的规定：锁脚锚杆外露头与型钢钢架焊接时，可采用U形钢管辅助焊接。

32. 锁脚锚杆安装应符合的规定：上部台阶锁脚锚杆砂浆强度达到设计强度的70%时，方可进行下一台阶开挖。

33. 钢支撑按其材料组成可分为：钢拱架、格栅钢架。

34. 格栅钢架是由钢筋经冷弯成形后焊接而成。

35. 模筑混凝土衬砌的施工技术要点如下：衬砌施工顺序，目前多采用由下到上、先墙后拱的顺序对称连续浇筑。在隧道纵向，则需分段进行，分段长度一般为8~12m。

36. 模板台车的长度即一次模筑段长度，应根据施工进度要求、混凝土生产能力和浇筑技术要求、曲线隧道的曲线半径等条件来确定。

37. 隧道主洞模筑混凝土衬砌施工宜采用全断面衬砌模板台车。

38. 全断面衬砌模板台车模板应留振捣窗，振捣窗间距纵向不宜大于3m，横向不宜大于2.5m，振捣窗不宜小于0.45m×0.45m。

39. 全断面衬砌模板台车就位应以隧道中线为准，按路线方向垂直架设。

40. 二次衬砌施工：顶模设置通气孔、注浆管。

41. 衬砌施工：衬砌混凝土应采用强制式混凝土搅拌机搅拌。

42. 二次衬砌施工：混凝土拌合物在运输过程中，如出现分层、离析现象，应对混凝土拌合物进行二次快速搅拌。

43. 二次衬砌施工：严禁在运输过程中向混凝土拌合物中加水。

44. 二次衬砌施工：混凝土拌合物运送到浇筑地点后，应按规定检测其坍落度。

45. 二次衬砌施工：混凝土浇筑应采用输送泵送料入模、均匀布料；混凝土入模温度应控制在5~32℃。

46. 二次衬砌施工：混凝土应从两侧边墙向拱顶、由下向上依次分层对称连续浇筑，两侧混凝土浇筑高差不应大于1.0m，同一侧混凝土浇筑面高差不应大于0.5m。

47. 二次衬砌施工：拱、墙混凝土应一次连续浇筑，不得采用先拱后墙浇筑，不得先浇矮边墙。

48. 二次衬砌施工：混凝土养护时间不得少于7d。

49. 二次衬砌施工：掺加引气剂或引气型减水剂时，混凝土养护时间不得少于14d。

50. 二次衬砌施工：隧道内空气湿度 $\geq 90\%$ 时，可不进行洒水养护。

51. 仰拱混凝土衬砌应先于拱墙混凝土衬砌施工，超前距离应根据围岩级别、施