

隧

道

下
册

铁路工程施工技术手册

铁路工程施工技术手册

● 中国铁道出版社



铁路工程施工技术手册

隧 道

(下册)

铁道部第二工程局 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1995年·北京

前 言

铁路工程施工技术手册·隧道(第一版)于1981年由中国铁道出版社出版,迄今已多年。在此期间,随着国家标准和铁道部有关规范的修订以及铁路隧道施工技术的不断发展和新技术不断应用,因此,作为现场施工参考的施工技术手册,也应随之进行修订,以满足生产的需要。

本手册修订是在第一版的基础上,结合国家现行有关标准和铁道部现行的部颁规范、规则及一些成熟的经验而进行的。在修订中删去了一些不相适应的内容,补充了喷锚构筑法、瓦斯、复合式衬砌等资料。

本手册修订后仍分上下两册出版。上册包括第一至第八章,内容主要介绍隧道施工技术资料,施工测量,隧道工程地质,隧道施工方法及施工准备、施工组织设计以及隧道开挖施工和监控量测等。下册包括第九至十五章,主要介绍隧道衬砌,洞门与明洞结构形式的特点,施工防水排水及堵漏,不良地质地区隧道施工以及通风、防尘、供水、供电等。

这次修订由铁道部第二工程局主编。铁道部第二工程局曾华新同志审核了全稿。铁道部第二工程局潘明德、钟衍兰、朱少松、梁武韬、李慧芳、林祖铤、吕通荣、刘若章、曾华新参加,编写了第一、二、四、六、十、十四、十五章;铁道部科学研究院西南分院张可诚、张蓉康、卿光全、高尔洋参加,编写了第三、五、八章,铁道部隧道工程局张玉环参加,编写了第十二、十三章,铁道部第五工程局卢仙源参加,编写了第七、九、十二章。

本手册的内容如有与铁道部现行的标准、规范不符之处，应以现行标准、规范为准。

编 者

目 录

第九章 衬 砌	1
第一节 衬砌主要材料及混凝土施工.....	1
第二节 衬砌作业	23
第三节 衬砌的防排水设施	57
第四节 混凝土衬砌的机械施工	69
第十章 洞门与明洞	99
第一节 洞口	99
第二节 拱形明洞.....	141
第三节 棚式盖板明洞.....	186
第十一章 施工防水排水	213
第一节 施工防水排水基本要求.....	213
第二节 施工排水.....	218
第三节 注浆堵水.....	245
第十二章 不良地质地段隧道施工	304
第一节 松散地层.....	304
第二节 断层.....	320
第三节 溶洞.....	323
第四节 膨胀性岩层.....	330
第五节 黄土.....	334
第六节 岩爆.....	336
第七节 隧道坍方处理.....	338

第十三章 辅助坑道	344
第一节 横洞和平行导坑.....	345
第二节 斜井.....	352
第三节 竖井.....	385
第十四章 压风、供水、供电及照明	444
第一节 压风.....	444
第二节 供水.....	456
第三节 供电及照明.....	467
第十五章 通风与防尘	482
第一节 通风.....	482
第二节 防尘.....	506
第三节 瓦斯.....	522
第四节 噪声.....	547

第九章 衬 砌

隧道衬砌必须保证质量，外表平整，中线水平，断面净空符合规定。

第一节 衬砌主要材料及混凝土施工

一、衬砌主要材料

(一) 水泥和外加剂

1. 水泥品种及适用范围见表 9—1。

水泥品种及适用范围

表 9—1

水泥品种	性 能	28d 强度 (%)		适用范围
		3d	7d	
普通水泥	强度前期增长快，后期慢。	40~57	65~70	拱、墙常用品种
高标号水泥	快硬、高强	57~60	79~81	制作 C25 以上高强度混凝土
矾土水泥	快硬、耐热、耐蚀	100	—	用于抢修，要求早强
抗硫酸盐水泥	抗硫酸盐	40~44	65~70	用于受硫酸盐侵蚀
膨胀水泥	在水中硬化时，体积增大	40~43	63~70	用于防水混凝土
石膏矾土膨胀水泥	快硬早强	75~83	—	紧急补强和接缝接头
快凝胶脂水泥	具有高抗强性能	75~83	100	堵塞漏水

2. 加气剂及其掺量见表 9—2。

加气剂掺量参考

表 9—2

加气剂种类	掺用量 (按水泥重量%)	附 注
松香皂	0.75~1.5	必须用软水
松香热聚物	0.5~1.5	用料配比必须准确,搅拌均匀,松香全部溶解
烷基苯磺酸钠	1~1.5	石油工业副产品
脂肪醇磺酸钠	1~1.5	石油工业副产品
烷基磺酸钠	1~1.5	石油工业副产品
石油磺酸	1~1.5	石油工业副产品
合成洗涤剂	1~4	石油工业副产品
乳化剂 OP	1~1.5	石油工业副产品

3. 其他外加剂:

(1) 常用外加剂见表 9—3。

常用的附加剂

表 9—3

名 称	掺用量 (水泥重量%)	附 注
塑化剂	0.1~0.3	常用亚硫酸盐苇浆或木浆,系造纸废料浓缩物,其有效成份是木质磺酸盐 塑化剂掺水 50~100 倍使用,应加强养护。 掺塑化剂的混凝土其强度有所降低 10%~15%,但隧道内的混凝土要求对抗冻、抗渗有较好的效果
密实剂		对提高混凝土密实度,有良好的防水性能。 氯丁乳胶占水泥重量 2.5%~5.0%,为防止早凝,乳胶内加肥皂 1.0%~1.5%。按水泥重量用硝酸钙 0.5%~1.2%和氧化松香 0.02%~0.06%混合物掺入混凝土中,不影响初凝和终凝时间,抗渗性能好。掺苯二甲胺的脂肪酸酰胺为水泥重量的 0.1%~5.0%,掺氢氧化铝胶态溶液(氯化钙 15%,氯化铝 5%,盐酸 0.5%,水 79.5%)将此胶态溶液再稀释成 5%~10%的溶液拌制混凝土

续上表

名 称	掺用量 (水泥重量%)	附 注
早强剂	氯盐 1~3, 三乙醇胺 0.05~0.10, 与氯化钙 (或氯化钠) 0.3~0.5 合用	在低温中早强效果最为显著, 尤宜用于冬季施工。电气化隧道衬砌对氯盐类掺用量及使用范围按有关规定办理。雨天抗压强度比不掺可提高一倍多, 在 15℃ 条件下, 63h 后混凝土强度达到设计强度的 70%, 28d 后期强度比不掺也有所增长
速凝剂	2~4	具有速凝和早期强度高的优点, 对喷混凝土、补漏缝等可掺用。目前常用红星一型, 还有 711 型。凝结时间可缩短到几分钟到十多分钟, 常温条件下, 一天的抗压强度可提高 1~2 倍, 低温条件提高强度更显著。但 28d 后期强度比不掺时有明显降低
缓凝剂	0.1~1.0	对运输距离远, 超过混凝土规定的初凝时间, 或在高气温环境下施工需要减缓硬化速度, 可掺用木质磺酸、磷酸及其可溶盐糖类等缓凝剂
减水剂	以扩散剂 N 为主 0.75~1.0	对混凝土有提高密实度、改善抗渗性能的作用, 大量减少拌合用水量, 从而减少水泥用量。如水泥用量不变, 则混凝土或砂浆的强度有很大提高

(2) 常用防水剂见表 9—4。

防 水 剂

表 9—4

类 别	掺入量 (水泥重量%)	附 注
硅酸钠类	0.5~0.8	掺入水泥砂浆中, 能产生憎水薄膜, 切断毛细孔道, 改善抗渗性能
金属盐类	混凝土 7.0	防水剂不能直接与水泥混合, 使用时先将防水剂掺入拌和水中搅拌均匀
	砂浆 1.0	
金属皂类	防水砂浆 1.5~5.0	宜用普通水泥或矿渣水泥
	防水混凝土 0.5~2.0	

(二) 石料分类、规格和要求

1. 石料分类见表 9—5。

石 料 分 类

表 9—5

项次	类 别	形 状	规 格 和 要 求
1	普通片石	形状不规则的石块	石块中部厚度不小于 15cm
2	镶面片石	形状不规则的石块	有两个大致平行面，厚度不小于 15cm，其它尺寸大于厚度
3	河卵石	形状不规则的石块	尺寸比照片石要求，圆蛋形及薄片者都不得使用
4	块石	形状规则，大致方正	仅稍加修整，厚度不小于 20cm，长度及宽度不小于厚度
5	镶面块石	形状规则，大致方正	外露面稍加修凿，凹入深度不大于 2cm，尺寸同块石，丁石的长度不小于顺石宽度的 1.5 倍
6	粗料石	形状规则的六面体	经粗加工，表面不允许凸出，凹入深度不大于 2cm，厚度不小于 20cm，宽度不小于厚度，长度不小于厚度的 1.5 倍
7	半细料石	形状规则的六面体，或按设计要求	经细加工，表面不允许凸出，凹入深度不大于 1cm，尺寸同粗料石
8	细料石	形状规则的六面体，或按设计要求	经细加工，表面不允许凸出，凹入深度不大于 0.2cm，尺寸同粗料石

2. 石料修凿工序和规格要求见表 9—6。

石料修凿工序和规格要求

表 9—6

工 序			石 料 种 类		
			粗料石	半细料石	细料石
外 露 面	有扁钻边框	四周边框	按划线用扁钻铲平宽 3~5cm		
		中间突出部分	呈天然面，其高度不超过四周边框 2cm	按设计要求	按设计要求
	无扁钻边框	每 10cm 中有平行钻路	3~5 条	按设计要求	按设计要求
上、下、左、右	表面凹入深度		不大于 2cm	不大于 1cm	不大于 0.2cm

注：沉积岩料石的层理应与承压面平行。

3. 片石加工要求见表 9—7。

片石块加工要求

表 9—7

项 目			加 工 方 法	
			分面砌筑	一般砌筑
石块规格及搭配比例	大	长、宽各 20~25cm 厚 5~10cm	60%~80%	50%~80%
	中	长、宽各 15~20cm 厚 5~10cm	10%~20%	10%~30%
	小	粒径不大于 5cm	10%~20%	10%~20%
对大、中级石块的要求			打去锋棱突角	
基本操作方法			挤浆法为主	
操 作 程 序	立模、检查		按设计要求	
	铺抹砂浆		底层铺厚 1.5~2.0cm 砂浆, 分层间必须铺满砂浆	
	分层安放大、中石块		安放平稳, 分层面和石块天地面必须与受压面平行	
	插 浆		在石块间缝隙, 插入适量砂浆, 石块靠边模应插入 1.5~2.0cm 砂浆	
	挤小石块		要求内部灰缝不大于 3cm, 小片石嵌塞均匀, 砂浆挤插紧密	
	顶面抹浆		顶面用砂浆抹平	
	拆边模		气温高于 15℃, 拆模时间不早于 24h, 气温低于 15℃, 拆模时间不早于 48h	
	拆底模、隔板		气温高于 15℃, 拆模时间不早于 72h, 气温低于 15℃, 拆模时间不早于 5d	

注: 片石块的尺寸应按设计要求及吊装能力来确定, 最小尺寸不宜小于 25cm。

(三) 混凝土

1. 混凝土配合比要求见表 9—8。

混凝土配合比要求表

表 9—8

施工部位	密实度要求	抗渗指标	水灰比	坍落度 (cm)	含砂率 (%)	水泥品种	1m ³ 混凝土水泥用量 (kg)
拱圈	高密实度	>B ₆	0.55	3~4	45~50	普通硅酸盐或火山灰质水泥	>300
边墙	高密实度	>B ₆	0.50	2~3	35~45	普通硅酸盐或火山灰质水泥	>280

注: 使用时应掺水泥用量 0.01% 的加气剂。

2. 隧道衬砌混凝土的最大水灰比和坍落度参见表 9—9。

混凝土水灰比限值和坍落度

表 9—9

混凝土类别		最大水灰比限值		坍落度 (cm)		说 明
		寒冷地区	温暖地区	机械捣固	人工捣固	
混凝土	受冻害部分	0.55	0.65	1~3	2~5	混凝土掺用加气剂时, 水灰比最大限值可按表列数放大 0.05; C20 及其以下的混凝土可放宽水灰比 0.05
	不受冻害部分	0.65	0.70	1~3	2~5	
半干硬性混凝土		0.40	0.40	0~1	—	
钢筋混凝土	配筋稀少	0.55	0.65	1~3	2~5	
	一般配筋	0.65	0.70	3~5	5~7	

注: ①凡工作度(干硬度)指标在 10~30s (符合国家标准) 且坍落度为 0~1cm 的混凝土称为半干硬性混凝土。

②按表内说明掺用加气剂后, 且是 $\leq$ C20 混凝土时, 其水灰比的总限值: 可能遭受冻害者不得超过 0.70; 不受冻害作用者不得超过 0.75。

3. 混凝土含砂率参见表 9—10。

混凝土含砂率参考表 (%)

表 9—10

混凝土的水泥 用量 (kg/m^3)	粗骨料最大粒径 (mm)					
	20		40		80	
	碎石	卵石	碎石	卵石	碎石	卵石
200			43	40	38	36
250	47	43	40	35	36	34
300	45	41	38	34	34	32
350	41	37	36	32	32	30
400	35	33	33	30	28	26

注: ①本表系根据水灰比 0.65、砂子细度模数 2.50、石子空隙率 42% 和机械捣固等条件制定;

②水灰比每增减 0.05 时, 含砂率相应增减 1%;

③砂子细度模数每增减 0.1, 含砂率相应增减 0.5%;

④石子空隙率每增减 1%, 含砂率相应增减 2%;

⑤人工捣固时, 含砂率增加 2%。

4. 混凝土骨料级配表见表 9—11。

骨料级配表

表 9—11

骨料类别	砂 子			石 子		
筛孔尺寸 (mm)	5.0~2.5	1.2~0.6	0.3~0.15	≤20	20~30	>30
累计筛余 (%)	0~35	35~75	75~100	85~100	60~90	40~70

(四) 砂浆

1. 分类

(1) 按用途分为：砌筑砂浆，抹面砂浆，防水砂浆。

(2) 按胶凝材料分为：水泥砂浆，石灰砂浆，混合砂浆，粉煤灰混合砂浆。

2. 砂浆配合比计算

(1) 每立方米水泥用量可按下式计算：

$$Q_{\text{水泥}} = \frac{R_{\text{砂浆}}}{K \cdot R_{\text{水泥}}} \times 1000 \quad (9-1)$$

式中 $Q_{\text{水泥}}$ ——每立方米砂浆中水泥用量 (kg)；

$R_{\text{砂浆}}$ ——砂浆试配强度 = $1.15R_{28}$ (MPa) (1.15—标号提高系数， R_{28} —砂浆设计标号)；

$R_{\text{水泥}}$ ——水泥标号 (MPa)；

K ——经验系数，其数值随砂浆和水泥标号而变，一般可参考表 9—12 数值。

经验系数 K

表 9—12

$R_{\text{水泥}} \backslash R_{28}$	25	50	75	100
42.5	0.591	0.735	0.827	0.898
32.5	0.624	0.780	0.882	0.963
27.5	0.648	0.813	0.922	1.009
22.5	0.679	0.857	0.977	1.074

(2) 查表求每立方米砂浆中水泥用量, 见表 9—13。

水泥用量、水泥标号与砂浆强度之关系 表 9—13

$R_{\text{砂浆}}$ 强度 (MPa) $Q_{\text{水泥}}$ 用量(kg)	$R_{\text{水泥}}$ 标号	225	325	425
100		1.5	2.0	2.5
120		1.9	2.6	3.1
150		2.7	3.6	4.5
180		3.6	4.8	6.0
200		4.2	5.6	7.0
240		5.6	7.5	9.4
270		6.8	9.1	11.3
290		7.6	10.2	12.8
300		8.1	10.8	13.5

注: 表中所列数据是根据实践经验推导出来的, 按公式计算出的水泥用量一般偏低。

3. 估计用水量

用水量可参照表 9—14 加以初步估计, 然后再试拌予以校正。

每立方米砂浆用水量 表 9—14

砂种类	用水量 (kg)	附 注
粗砂	250~280	适用于坍落度为 2~4cm 的砂浆, 超过 4cm 时, 坍落度每增 1cm, 用水量约增 8~10kg
中砂	280~320	
细砂	320~350	

4. 水泥砂浆配合比选定

水泥砂配合比应通过试验选定, 一般可参见表 9—15。

水泥砂浆配合比

表 9—15

水泥品种	水泥标号	砂子粒度	水泥砂浆标号								
			50			75			100		
			水灰比	重量配合比	水泥用量 (kg/m ³)	水灰比	重量配合比	水泥用量 (kg/m ³)	水灰比	重量配合比	水泥用量 (kg/m ³)
硅酸盐水泥	325	粗	1.04	1:6.4	259	0.88	1:5.3	307	0.79	1:4.6	341
		中	1.04	1:6.0	269	0.88	1:5.0	318	0.79	1:4.4	354
		细	0.99	1:4.8	313	0.83	1:3.9	374	0.76	1:3.5	408
	425	粗	1.12	1:6.9	241	0.96	1:5.8	281	0.88	1:5.3	307
		中	1.12	1:6.5	250	0.96	1:5.5	292	0.88	1:5.0	318
		细	1.05	1:5.1	296	0.92	1:4.4	337	0.85	1:4.0	365
矿渣硅酸盐水泥	325	粗	0.93	1:5.4	296	0.78	1:4.4	353	0.71	1:4.0	387
		中	0.93	1:5.1	306	0.78	1:4.2	365	0.71	1:3.7	401
		细	0.88	1:4.1	358	0.74	1:3.3	425	0.68	1:2.9	464
	425	粗	0.98	1:5.8	281	0.85	1:4.9	324	0.78	1:4.4	353
		中	0.98	1:5.5	291	0.85	1:4.6	335	0.78	1:4.2	365
		细	0.94	1:4.1	335	0.81	1:3.7	389	0.75	1:3.3	420

注：① 粗砂细度模数为 3.2~3.9，中砂细度模数为 2.5~3.2，细砂细度模数为 1.8~2.5。

② 在水泥砂浆中，相同的配合比掺用扩散剂 N1% 后，可减少用水量，减水率为 8.2%~25.8%；抗渗标号从 B₈ 提高到 B₁₂~B₁₅；或者渗透高度相应降低 20%~45%。掺用扩散剂后，砂浆的强度有很大提高。

③ 砂浆中掺用塑性附加剂，可以改善砂浆的工作性，减少水泥用量，并提高工程质量。

二、混凝土施工

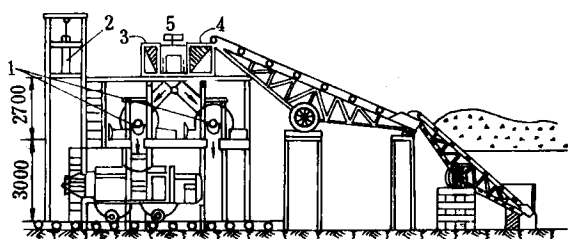
(一) 自动化混凝土搅拌站

1. 搅拌站布置

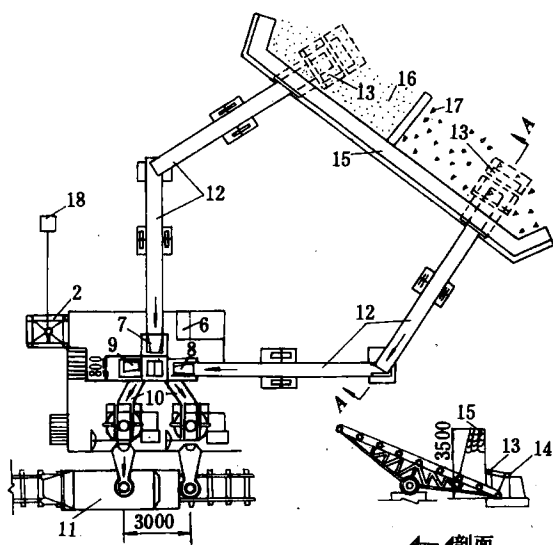
搅拌站布置如图 9—1 所示。

2. 机具设备

机具设备见表 9—16。



正面图



平面图

A-A剖面

图 9-1 自动化混凝土搅拌机 (单位: mm)

1——搅拌机 2 台; 2——水泥吊笼; 3——水泥进料口; 4——石子进料口; 5——砂子进料口; 6——控制室; 7——砂子称量斗; 8——石子称量斗; 9——水泥漏斗; 10——裤叉式分料槽; 11——混凝土运送车; 12——15m 皮带运输机; 13——漏斗; 14——横梁; 15——挡墙; 16——砂堆; 17——碎石堆; 18——卷扬机。

序号	机具名称	规格性能	数量	附 注
1	搅拌机	0.4m ³ 自落式	2 台	轮流搅拌作业
2	皮带运输机	每台长 15m	4 台	砂、石各用 2 台
3	混凝土搅拌机	3m ³ 容量	3 台	洞内运距不长时改用运送车
	小卷扬机	600~1000kg	1 台	提升水泥用

3. 搅拌作业的步骤和方法

(1) 砂、石料分别堆集于储料仓内。通过料仓底部的漏斗(如图 9—1 内 A—A 剖面所示), 砂、石料自动落入皮带运输机的接料斗, 经皮带传送上搅拌站顶层的计量斗。

(2) 水泥用电动卷扬机通过吊笼垂直提升到顶层配料平台, 用人工装入水泥漏斗。

(3) 打开已称量好的水泥、砂子、石子三个计量斗门, 使水泥和骨料经过裤叉式分料槽(如图 9—2), 进入第一台或第二搅拌机装料斗内。

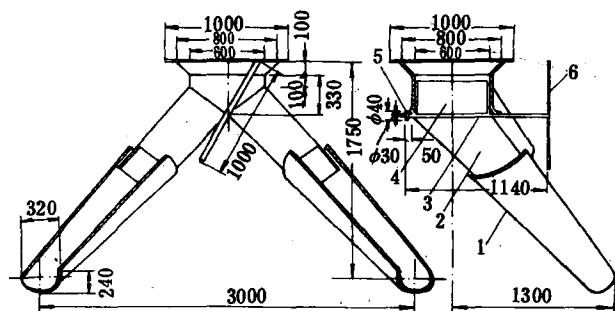


图 9—2 裤叉式分料槽 (单位: mm)

- 1——滑槽 2 个; 2——裤叉漏斗 1 个; 3——倒板轴 1 个;
4——倒板 1 个; 5——轴衬 2 个; 6——把手 1 个。

(4) 搅拌机拌合后由倾吐口经滑槽装入搅拌车或运送车内,