

联邦德国铁路工程考察随想

吴成三 尚恩勋

我们于去年11月间以中德技术合作名义对联邦德国两条新建铁路进行考察,一条是从汉诺威到维尔茨堡长327公里,另一条是从曼海母到斯图加特长100公里,同时看了汉堡和都兹路道夫城市地下道工程。

这两条新线都是客货混合运营,客车最高时速250公里,货车时速100公里,每天行驶列车120对,曲线半径一般为7000m最小为5100m,限坡12.5‰,设计荷载采用国际铁路联盟荷载,机车轴重25吨(图一)。

选线中一个指导思想,就是注重生态平衡,尽量少破坏自然,节省用地。以汉诺威到维尔茨堡新线为例,在全长327公里中就有隧道116公里,曼海母到斯图加特100公里中就有29公里,不少平坦地形多采用隧道通过,明挖后回填,恢复自然,并减少噪音,同时为了取得全线轨道的弹性一致,不论路基、隧道、桥梁都铺设道碴30cm。考察期间,德铁热情接待,布置周到,满足我们要求,除去现场考察外,还举行座谈,我们觉得有几项技术可以借鉴,有几项可立即组织力量研究引用及早收到经济效益,兹分述如下:

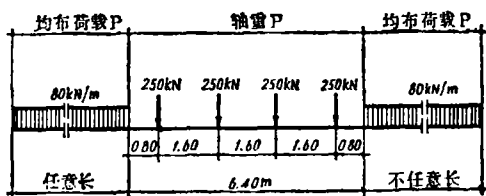


图 一

一、桥梁上铺混凝土枕代替木枕节省大量昂贵木材

联邦德国新建铁路行车速度 250 km/h,在桥梁上规定铺设混凝土枕,同时不用护轮轨,道碴床面有足够宽度,脱轨时,外轮仍在道碴床内(图二,三)。

根据我国桥梁结构目前情况建议:

(1) 有碴桥面采用钢筋混凝土轨枕,仍设护轨,为了便于铺设护轨,将轨枕面凹槽取消改为平面。

(2) 研究改变梁的设计,增加道床宽度,采用钢筋混凝土轨枕,不设护轮轨的方案,或仅在直线桥上不

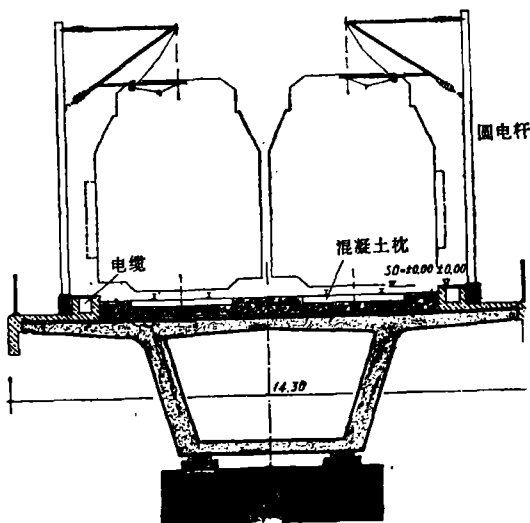


图 二

设护轨。

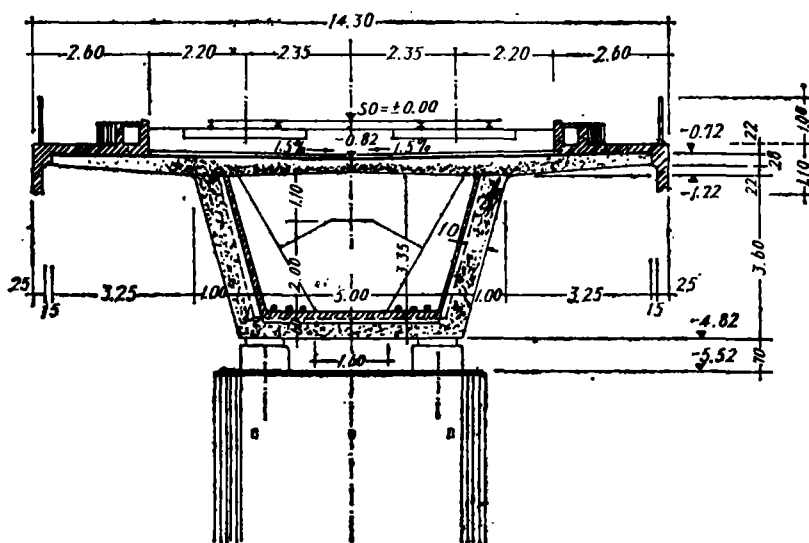


图 三

二、接触网支柱设置在桥面上

从图二可以看出联邦德国将接触网支柱设置在桥面上, 支柱长约 8 m。我国电化设计是将支柱设在墩台面上, 以桥梁跨径 40m 而论, 支柱长度约达 12m, 这样支柱长度比联邦德国大约长一半, 浪费材料资金, 搬运困难, 受力情况也不利, 建议今后桥梁设计多采用箱型断面将支柱设在桥面上同时也解决了铺设混凝土枕和不用护轨问题。

三、用混凝土岔枕代替木枕节省大量规格高的木材

联邦德国在新线上规定采用混凝土岔枕代替木枕, 混凝土岔枕长度由 2.4m 到 4.8m, 道岔采用焊接与混凝土枕组装一起共重 65.9 吨, 用机具整体铺设。(木枕道岔重 30 吨) 岔枕断面相同即顶宽 28cm, 底宽 30cm 厚 22cm, 用 8 根 $\phi 10\text{mm}$ 钢筋, 总张力为 64 吨, 分开式扣件(图四、五), 据说这个设计是参照苏联, 英国和瑞典经验, 苏联岔枕采用 $\phi 5\text{mm}$ 高强钢丝 32 根, 英国和瑞典岔枕采用高强钢筋 $\phi 9.3\text{mm}$ 12 根。

我国铁路已试铺多组, 主要问题有几根岔枕发生裂纹, 扣件还有些问题, 虽已鉴定但尚未广泛采用, 我们建议:

在我国新建铁路上应尽快大量采用混凝土岔枕代替木枕, 即组织岔枕设计人员参照联邦德国资料改进不足之处, 例如钢筋用量问题我们钢筋混凝土岔枕采用 8 根 $\phi 8.2\text{mm}$ 高强钢丝, 张力只有 44 吨, 只为德国的 70%。岔枕总面积只为德国的 86% 是否考虑增强。扣件强度不够, 可考虑与联邦德国进行技术合作。

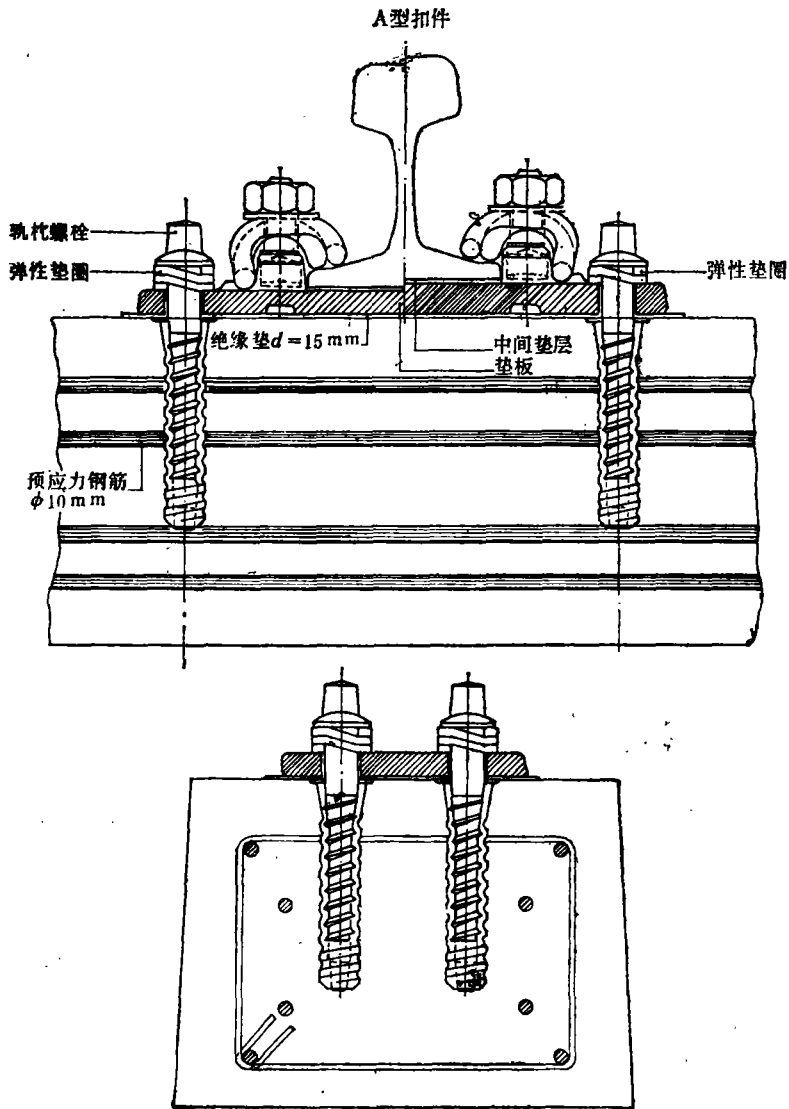
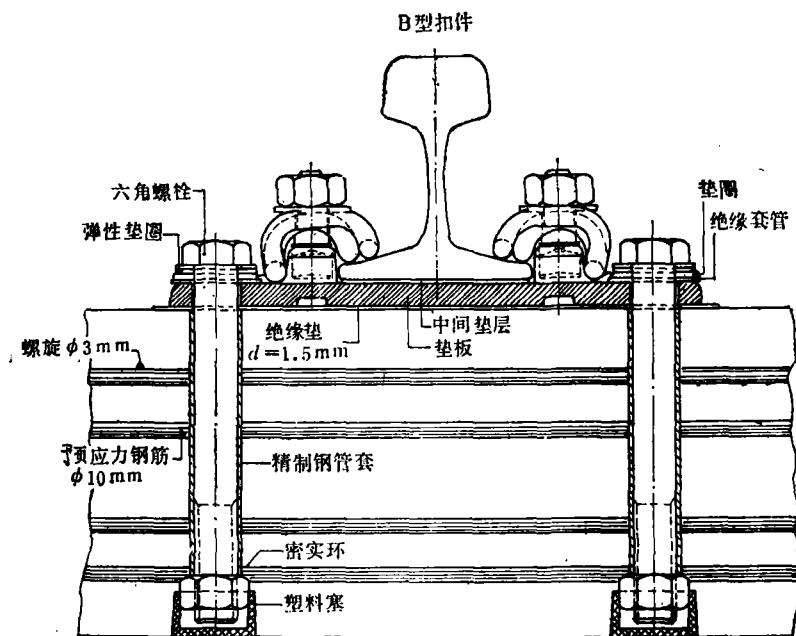


图 四



预应力混凝土岔枕扣件

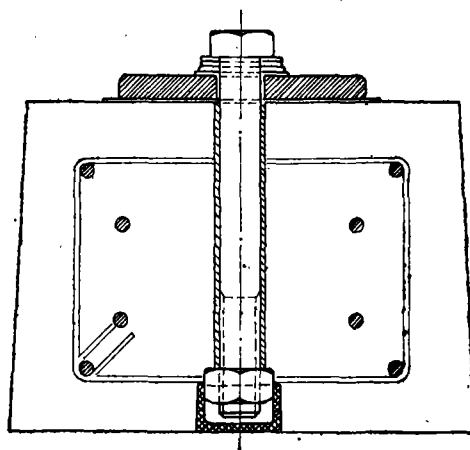


图 五

四、混凝土轨枕生产试用后张法既可减少裂缝， 延长使用年限又能节省能源

联邦德国轨枕生产现多采用后张法，混凝土振捣后立即脱模自然养生，不用蒸气，27小时后，进行张拉，然后压浆（图六），车间内只有16个工人，全厂只有模板6套，每套生产两根轨枕，每分钟生产成品一根。其主要理由是采用先张法生产轨枕时，为了提高模板的周转率和经济效益，必须采用蒸气养生，联邦德国专家认为这样在混凝土凝固过程中水泥内含有的石膏的硫酸盐与铝酸盐相结合，形成容量很大和湿度很大的晶体，在超过一定的温度后，变化过程终止，如果到这个时候，结合过程尚未完成就能从预制成品缝隙中吸收大气中的湿气，混凝土的拉力强度因而超出，如果以前由于温度应力已经产生一定宽度的微裂时，更容易促使其恶化。

用先张法时又要特别重视轨枕的热处理，不同标号水泥在同样热影响下反应不同，想用科研方法，找出相互关系，也就是说想用小试件进行短时间试验希望求得须用微量化学和与温度有关的长时间试验才能得到的结果是相当困难的，根据经验采用先张法蒸气养生时规定。

（1）人工加热使轨枕内部温度从灌注起3小时不大于 30°C ，4小时后不大于 40°C 。

（2）过了4小时后枕内温度升高不大于 20°C/h 。

（3）最高温度不应超出 65°C 采用后张法轨枕自然养生，即将轨枕堆垛用塑料布包围，利用钢筋混凝土本身的水化热足以产生上述温度，节省了蒸气又不受上述限制，唯一缺点是堆放地点较大。

我国混凝土枕采用先张法生产以来，据查约有40%以上发生纵横裂纹，严重影响使用寿命，经济上受到损失，原因很多，蒸气养生温度控制不当，可能是主要原因之一，事实上也不易控制，我们建议除参照联邦德国B70混凝土枕和扣件资料（图六、七）改进我们的设计外（主要是增加有效支承面积，改进挡肩构造，并不一定增加长度），尽快试用后张法，既可保证质量又可提高经济效益。

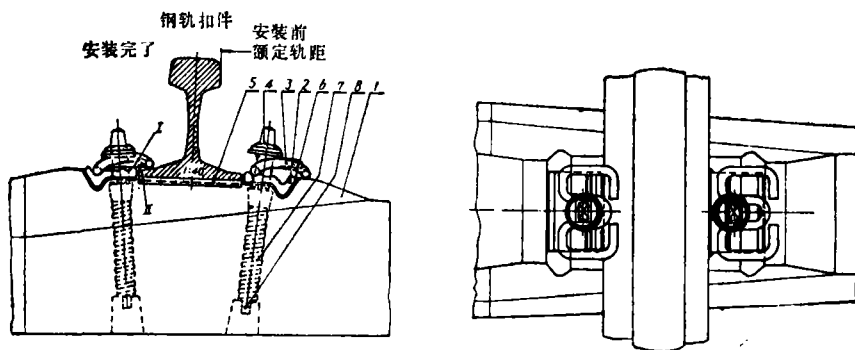


图 七

五、在现场生产钢筋混凝土枕

联邦德国钢筋混凝土轨枕工厂,一般年产40~50万根,供应距离很短,这个道理非常明显,钢筋混凝土枕主要材料是砂石和水占总重的80%,这种天然材料到处都有,长途运输很不经济又加重了运输紧张。如轨枕生产采用后张法不用蒸气工艺简单。施工单位即可在工地生产,这样省去铁路运费和上税,其比重约占成本的30%,经济效益显著。

六、在地下水无侵蚀性的隧道工程中 采用防水混凝土衬砌不用防水板

(1) 在曼海姆到斯图加特新建铁路中,我们看了两座隧道采用防水混凝土衬砌,即波夫斯特伯格隧道长5380m和否尔斯特隧道全长1.727m建成的隧道内确实干燥无水,原设计采用防水板的双层衬砌,后因地下水对钢筋混凝土无侵蚀便改用防水钢筋混凝土。前者不用防水板就此一项节省资金1,500万马克,折合人民币约200万元/km。

(2) 在汉诺威到维尔茨堡新线上正在施工中的隧道有7座采用防水混凝土衬砌即洛贝格(578m),迷路巴赫(1583m),艾西贝尔格(950m),维策尔赫(770m),甘次贝尔格(360m),迪特山(7330m),苏尔霍夫(660m)。

(3) 汉堡地下铁道 $L=1200\text{m}$ 采用防水混凝土,地下水与洞顶平,没有漏水情况。

(4) 杜塞路道尔夫一段地下道正灌注防水混凝土。

对防水混凝土主要要求除灌注工艺严格外,1.水化热低,因此水泥用量少,另掺用小于0.25mm石粉和粉煤灰补充,2.拌合用水少, $W/Z \leq 0.5$ 。

(5) 两座隧道采用防水钢筋混凝土的主要参数如下:

(a) 里希特厚夫隧道

钢筋混凝土等级: B25 (B30)

工程部位: 隧道仰拱和底板

砂 $0/2 = 38\%$ (重量)

碎石 $2/8 = 20\%$ (重量)

$8/16 = 22\%$ (重量)

$16/32 = 20\%$ (重量)

水灰比 ≤ 0.51

摊展度 $40 \pm 2\text{cm}$

水泥(波次兰) = 300kg

石屑 $< 0.25\text{mm} = 48\text{kg}$

粉煤灰 = 60kg

钢筋混凝土抗压强度

$BW(8\text{小时}) = 2.0\text{N/mm}^2$

$BW(12\text{小时}) = 4.3\text{N/mm}^2$

$BW(15\text{小时}) = 6.6 \text{ N/mm}^2$

$BW(24\text{小时}) = 17.2 \text{ N/mm}^2$

$BW(3\text{天}) = 36.4 \text{ N/mm}^2$

$BW(7\text{天}) = 42.3 \text{ N/mm}^2$

$BW(28\text{天}) = 60.3 \text{ N/mm}^2$

(b) 波夫斯特伯格

钢筋混凝土等级 (B35)

莱茵河砂石 0—30mm 介于筛分曲线

A/B 之间

水泥 HOZ, 405L, 280 kg/m^3

填充料 (粉煤灰) 60 kg/m^3

附加剂 BVF, W75, 1.02%

水 150 L/m^3

水灰比 0.54

摊展度 41~43cm

容重 2.34 t/m^3

渗透深度 2.0cm

抗压强度 2700, 3900, 5075 N/cm^2

(周期分别为 3, 7, 28天)

工程部位 全部隧道

我国已建成隧道全长约 2000km, 但漏水者很多, 以成昆线 427 座隧道而论, 漏水的占 39.5%, 铁道部三令五伸要求解决隧道漏水问题, 我们考虑目前经济可行的办法, 就是在地下水对混凝土无侵蚀性的情况下, 宜广泛采用防水混凝土, 现正在引用中的南岭隧道已采用振捣式防水混凝土约 2000 公尺, 大瑶山隧道试用流动性不振捣的防水混凝土 80m, 也取得成功。必须说明, 采用防水混凝土并不是 100% 都没有裂缝, 出点裂缝并不可怕可采取整治措施, 这方面国内外都有成熟经验, 算笔总帐, 还是经济的。

(c) 迷路贝尔格隧道全长 5513m, 多是砂岩地层, 采用双层衬砌, 喷锚形成外层, 内层模注钢筋混凝土厚 30cm, 地下水对混凝土有弱侵蚀性到强侵蚀性, 采用中间防水板, 仰拱或隧底采用防水钢筋混凝土最少厚 55—60cm。

根据围岩情况一般采用三部开挖, 即上部 55 m^2 , 中层 50 m^2 , 挖底 25 m^2 , 钻眼深度为 3m, 本隧道分南北两段施工, 南段长 3988m, 奥地利包商承担共有工人 100 人。在掘进上部和中层时分成 3 个队, 每队 13 人, 另有一名有经验的工长, 每天分两班工作每班 11 小时。这三个队经常是两个队同时工作, 另一个队休息。每月平均成洞 97m。南段长 1525m, 德国包商担任, 共有工人 22 人, 分成二个队, 每队 9 人, 两班工作, 每班 11 小时。每周工作五日。每月平均成洞 37m。

本隧道 1982 年 7 月开工, 41 个月完成, 每月平均成洞 140m。隧道开挖最早是多分部, 以争取掘进速度, 不久以前已有一个较长时间热衷于全断面开挖, 现在趋势又转向于分部 (图八), 一般是上下两部, 在加上挖底, 就是三部。这个情况值得重视, 切不可忽视围岩类

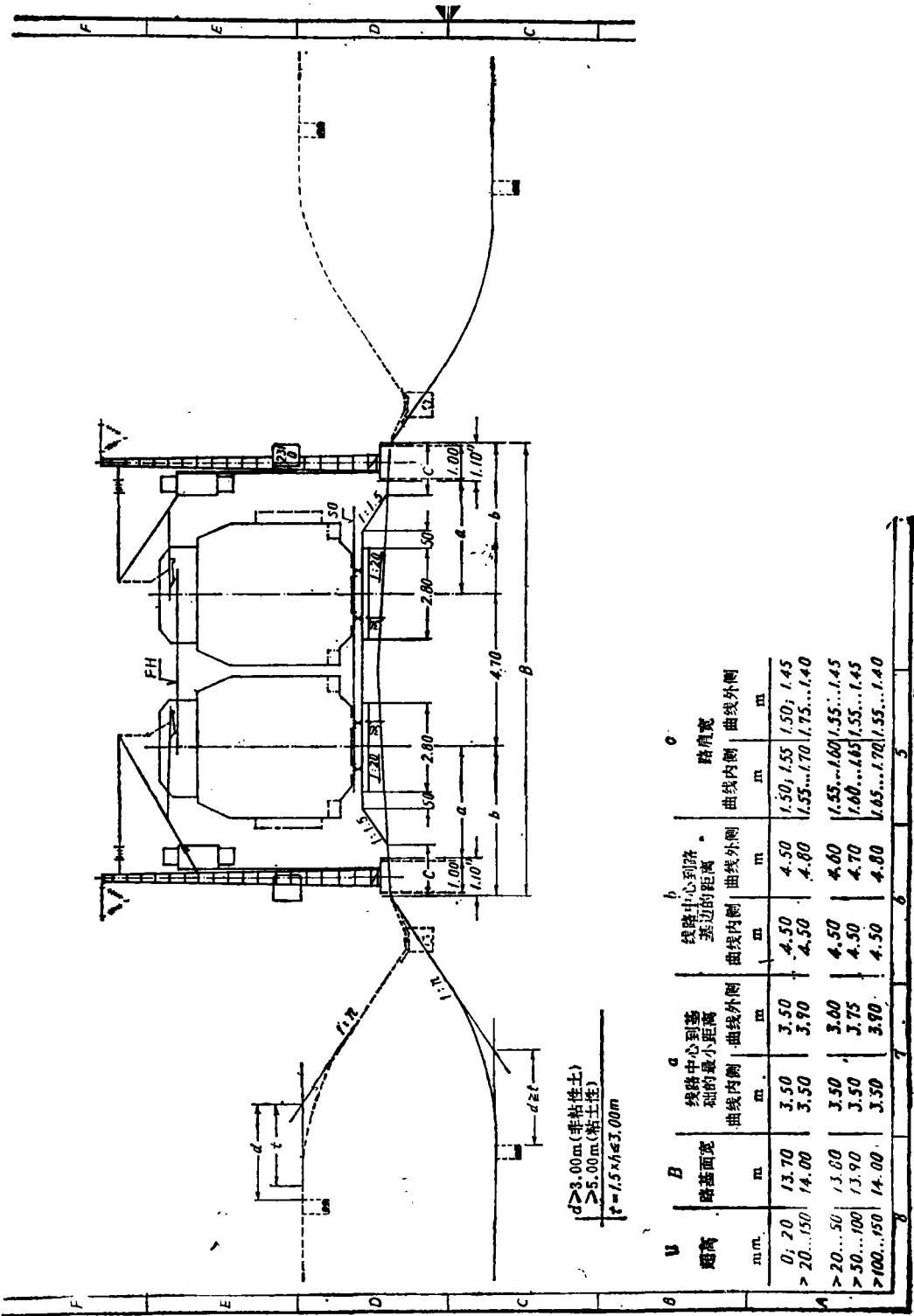
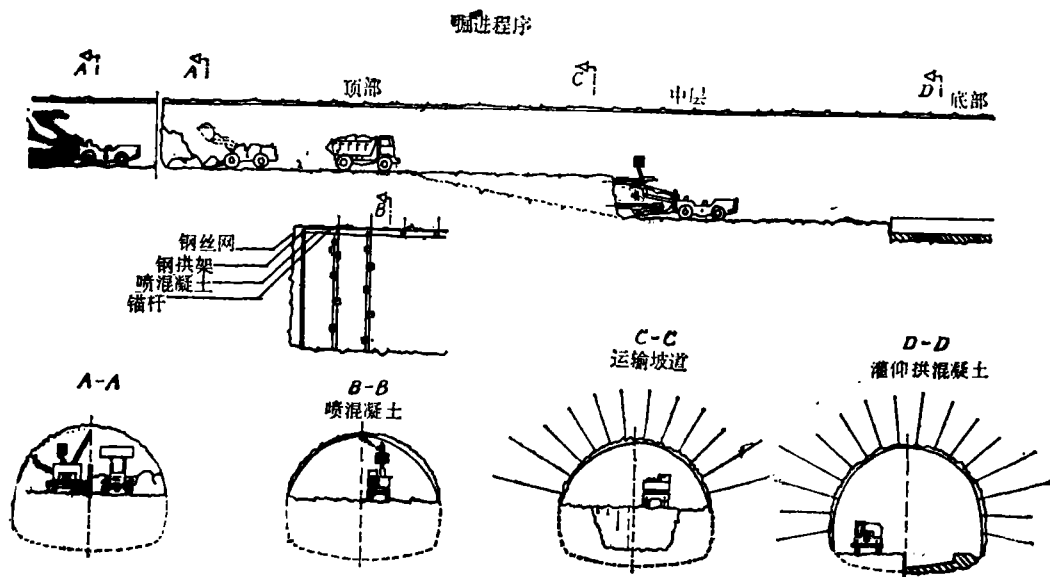


图 八

别,勉强采用全断面开挖并加大进尺深度,引起坍塌,超挖浪费资金。

七、根据围岩类别规定开挖断面和进尺深度,减少超挖

兰德吕肯隧道全长10.75km,砂岩地层,构造复杂。开挖方式根据地质情况分为三部(图九)。进尺深度按照围岩类别而定,以减少超挖,(表一)据告当时的进尺深度为1.5m,每天掘进一般为7—9m。用新奥法施工双层衬砌,由于水对混凝土有侵蚀性,采用中间防水板,厚2mm,里面还用一层无纺纤维布做的调整层和泄水之用(图十),根据技术和工期要求,把隧道分成三段施工,中间一个斜井(断面43m²,长650m,一年内已建成)。以后考虑在南端增加一个长仅104m的斜井更为有利(图十一),对隧道出碴用作填平洼地,妥善处理。这样还大大地缓和了当地居民对出碴干扰的责难。



图九

通风管一根直径2.7m,供风量4800m³/min,采用汽车运输,该隧道于1982年12月初到本年8月底止已完成6620m,计划1988年完工,每月平均掘进300m,速度很快。

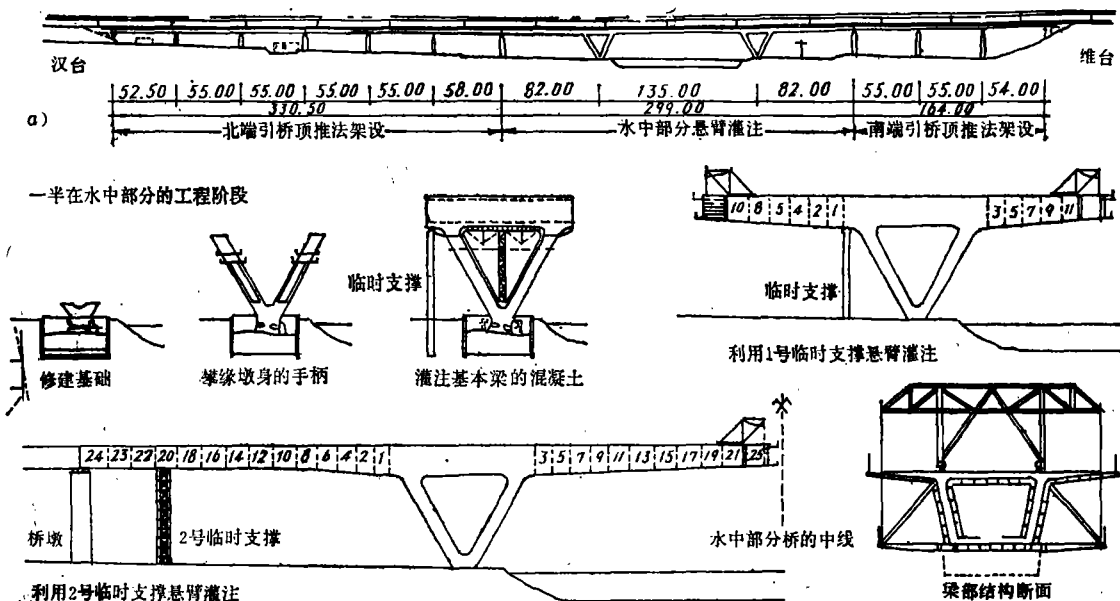
八、积极推广混凝土箱型梁,并将腹板厚度适当加大

联邦德国这两条新线大中桥梁几乎全部采用混凝土箱型梁,刚度大,整体性强,非常坚固,外表面积小,梁部各点易于接近检查维修方便(图二、三)。

九、只为了避免深水桥墩和高墩， 有条件时应考虑采用斜腿刚构

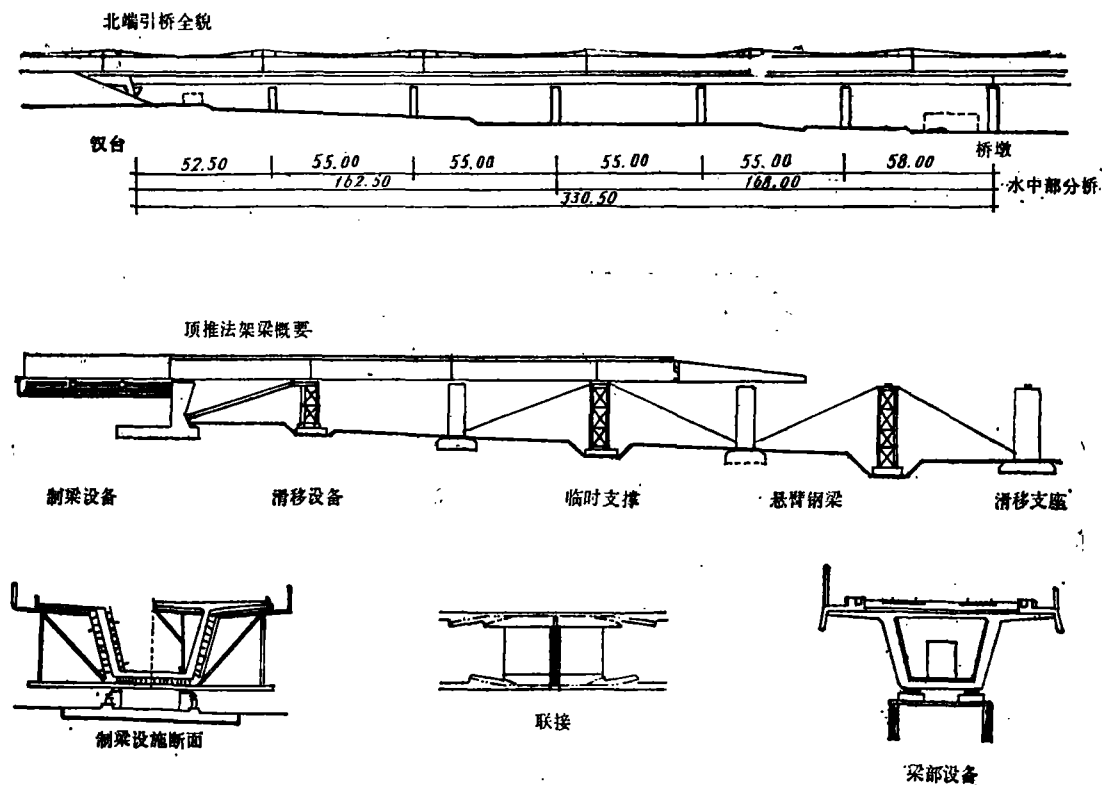
漏木巴贺 (Romhach) 谷架桥，全长1000m，桥面高出谷底95m，采用58m跨径混凝土箱型梁，跨越谷宽116m，用人字型刚构跨越 (图十二)。把刚构顶点做为固定端，有效地平衡制动力，减少其他高墩的负担，因而减少圯工量。同时把简支梁相互连在一起，以纵向力而论有连续梁作用，有利于平衡制动力。美因河大桥，全长800m，平原地区，河中跨径为135m这是德国也是国际间同类桥最大跨径的。为了避免深水墩一孔跨越，采用V型桥墩 (就是两个斜腿)，正桥采用悬臂灌注，引桥跨径41.5~52m，采用顶推法施工 (图十三)，联邦德国专家对这座桥的建成引以自豪并看作是德国铁路史上一个新阶段，深水墩和高墩的造价有时特高，特别只有一、二个墩时亦须用大量建桥设备来往运输，造价惊人，如京通线的白河桥只有两个深水墩，每墩用钢1000吨，造价约1000万元，我们吸取了这个教训，汉江桥采用斜腿刚构跨越176m的汉江，为国际间这类桥梁的跨径最大者，避免了汉江V形峡谷，洪水流量达34,000秒立米的修建深水桥墩的危险，在技术上斜腿刚构桥又能有效地平衡纵向力，减少其他桥墩负担，因而减少了圯工。

联邦德国新建铁路桥梁还有一个特点，就是采用活动脚手，就地灌注钢筋混凝土，其优点是桥梁跨径不受限制，又避免了繁重的运梁，存梁任务。钢筋混凝土梁与钢筋混凝土枕同是以天然砂、石、水为主要材料，远距离运送是很不经济的。对于这一点九江桥的引桥跨长40m，狄家河桥跨长也是40m，正在修建中的茅岭江桥跨长80m的钢筋混凝土箱梁也都采用就地灌注。今后应推广这项经验，扩大钢筋混凝土梁应用范围，打破32m跨径的局限。



(b) 美因河大桥全貌和水中部分悬臂施工情况

图 十三



(c) 美国大桥引桥部分施工工序

图 十三

十、对路基工程要重视填土压实

联邦德国的新线路基除排水设施比较完善外,对压实要求特别严格对桥头填土更为重视(图十四),在未铺碴以前,汽车往返行驶看不见明显的辙痕。为了达到规定的压实度和变形模量,是根据土壤类别选择适用的压实机具以及相应的填土厚度(图十五表二)例如填土为细颗粒粘结性土和粘土夹砂可采用(1)静力式羊足碾,每层填土厚20—30cm,滚压8—12遍。(2)振动式羊足碾,每层填土厚20—40cm,滚压6—10遍,(3)静力式胶轮压路机,每层填土厚20—30cm,滚压6—10遍。这三种机具根据具体情况可选用任何一种,其他机具如快速冲击式打夯机则不适用。

过去我们对路基工程重视不够,至今没有完善的压实机具,压实密度不够,道碴陷入路基,造成水囊,不只影响运营,从经济方面考虑,也是不应该的,现在正在兴建中的重载线路,对填土压实更要高度重视不留后患。

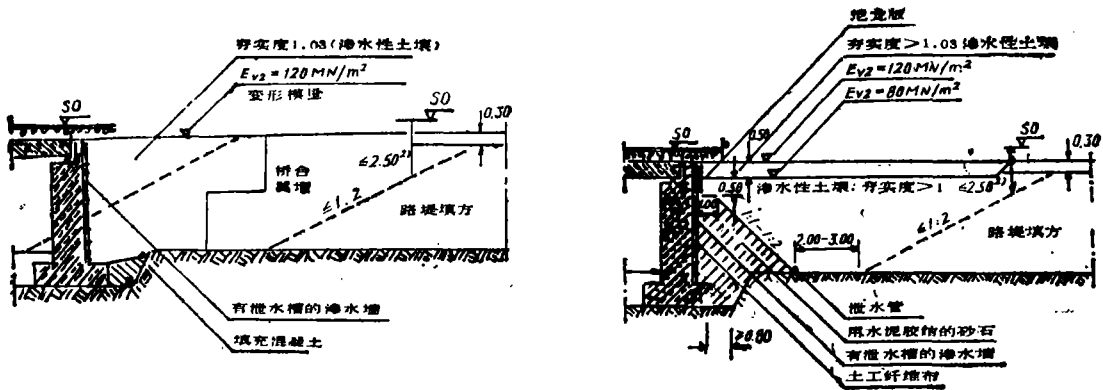


图 十四

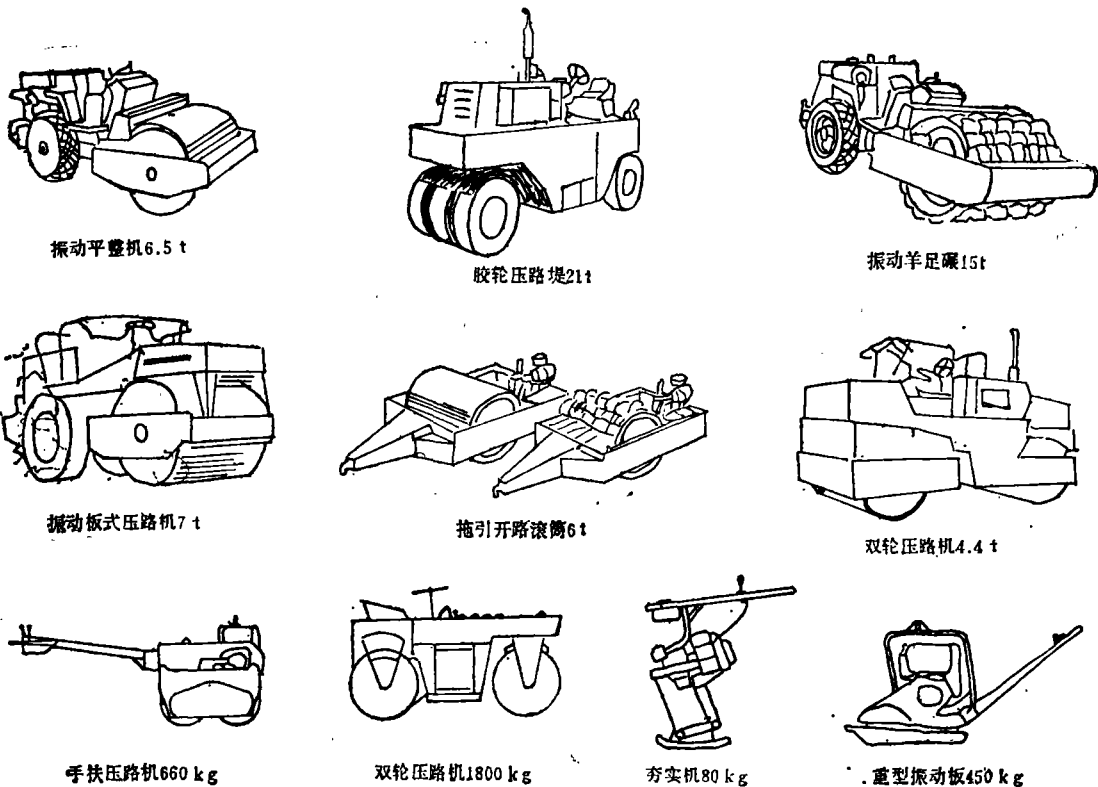


图 十五

德意志联邦共和国汉诺威—维尔茨堡

围 岩 说 明			掘 进			
围岩类别	围岩性质	围岩的机理特征	断 面	进尺深度 (m)	一次掘进土石方量 (m ³)	方 法
I	稳 定	仅沿岩层劈开面局部裂开	全断面或分部	全断面 3.25 < 4.0 上部 4.0 < 4.5 下部 4.0 < 4.5	最大 400	控制爆破
II	坍塌	拱顶拉力及岩层不良的劈开面, 促使岩层裂开和成层剥落, 可直达边墙	全断面或分部	全断面 2.5 < 3.25 上部 3.25 < 4.0 下部 3.5 < 4.0	最大 325	控制爆破
III	坍塌强烈	拱顶拉力及岩层劈开面间结合不良, 促使岩层沿劈开面坍塌, 在边墙上顺劈开面出现裂缝	全断面或分部	全断面 2.0 < 2.5 上部 2.5 < 3.25 下部 3.0 < 3.5	最大 250	控制爆破
IV	稍软弱而脆 稍有压力	岩层沿劈开面被扰动, 促使拱顶、拱脚和边墙部分出现坍塌, 沿劈开面围岩强度降低	分 部 (上部/下部)	上部 1.75 < 2.5 下部 2.5 < 3.0	上部最大 150 下部最大 200	控制爆破局 部机械开挖
V	软弱有压力	强烈的围岩松动, 导致拱顶强烈坍塌, 边墙也有同样情况, 围岩强度降低	分 部 (上部/下部)	上部 1.0 < 1.75 下部 1.5 < 2.5	上部最大 100 下部最大 150	控制爆破局 部机械开挖
VI	极 软 弱 压力强烈	强烈的围岩松动, 促使拱部出现强烈坍塌, 妨碍侧面支撑, 开挖时出现移动 (收敛)	分 部 (上部最少两部 下部最少两部)	上部 0.5 ~ 1.0 下部 0.5 ~ 1.0	上部最大 50 下部最大 50	控制爆破局 部机械开挖
VII	压力强烈 开挖面不稳定	在形成的毛洞拱腹和开挖面上产生强烈压力现象	分 部 (上部最少两部 上部最少两部)	上部 0.5 ~ 1.0 下部 0.75 ~ 1.5	上部最大 25 下部最大 25	机械开挖 必要时松动爆破
VIII	随着开挖前进 压力强烈	在形成的毛洞拱腹和开挖面上产生强烈压力现象, 仅能用先行支撑和开挖面支撑进行控制	分 部 (按照需要 分成多部)	上部 0.5 ~ 1.0 下部 0.5 ~ 1.0	上部最大 25 下部最大 25	机械开挖 不得采用松动爆破
IX	随着开挖前进 压力强烈 开挖面不稳定	在形成的毛洞拱腹和开挖面上产生强烈压力现象, 仅能用先行支撑和开挖面支撑进行控制	分 部 (按照需要 分成多部)	上部最大 0.5 下部最大 0.5	上部最大 15 下部最大 15	机械开挖 不得采用松动爆破
X	流 动 性	此类包括岩石和土类, 仅能用特殊方法 (冻结、预先注浆等) 才能控制	采用特殊方 法进行开挖			
XI	粘结性松 动 地 层	在挖开的工作面范围内能自稳的时间短	分部, 在开挖 面预留土柱	上部 0.8 < 1.2 下部 0.8 < 1.2	上部最大 50 下部最大 50	个别部分机械开挖
XII	无粘结松 动 地 层	不能自稳, 对流出来的物质采用开挖面预先做支撑的措施进行控制	分部, 在开挖面 预留阶梯式土柱	上部最大 0.8 下部最大 0.8	相适应的 分部和阶梯	个别部分机械开挖

注: ①采用爆破掘进时, 爆破后的碴子应全部立即运走。

②对个别围岩类别所提出的支护措施, 是就原则而言, 不作为围岩分类标准, 支护措施必须考虑围岩的量测结果

③在断面内必须针对围岩的层理和节理进行锚固。

④对风化敏感的围岩原则上必须立即封闭, 出现的空洞, 例如在围岩与衬砌之间, 必须灌浆充满, 没有粘性松动

铁路新建双线隧道施工方法表

表一

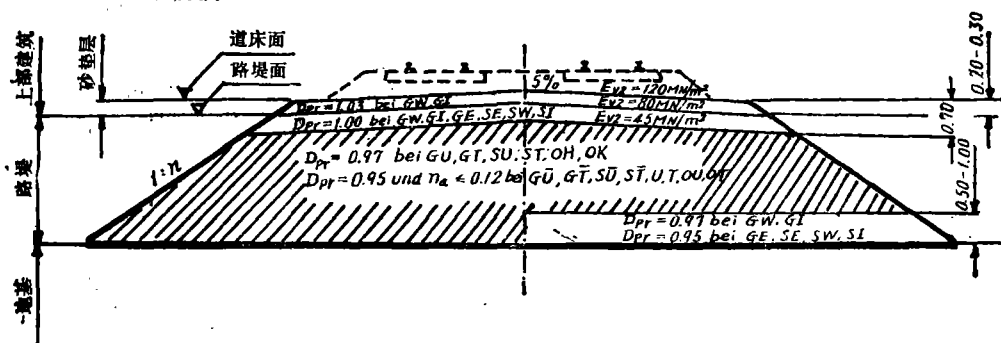
工 艺 过 程	支 护 和 支 撑			
开挖和支护工作	一 般 原 则	拱 部	边 墙	开 挖 面
每次掘进前,都必须做好支护措施	支护拱部防止落石	喷混凝土0~5cm,局部锚杆	必要时用锚杆	
掘进后,立即对危险岩层进行锚固,至迟在开挖面后2个进尺长度进行所有支护工作	在拱部喷混凝土并打锚杆,使其成为支撑拱,支护边墙,防止落石	采用钢筋网喷混凝土5~10cm,锚杆长2~4m,每4~5m ² 打1根	混凝土0~5cm,根据需要采用锚杆	
掘进后,立即对危险岩层进行锚固,至迟在开挖面后2个进尺长度进行所有支护工作	在拱部和边墙喷锚,使其成为支撑结构。	采用钢筋网喷混凝土10~15cm,锚杆长3~4m,每3~4m ² 打1根	采用钢筋网喷混凝土5~10cm,锚杆长3~4m	
掘进后,立即对危险岩层进行锚固,在下次掘进前进行喷混凝土和安装钢拱支撑,至迟在开挖面后1个进尺长度系统地打锚杆	在拱部和边墙喷锚,使其成为支撑结构,根据需要加强隧道底板	采用钢筋网喷锚15~20cm,锚杆长3~4m,每2~3m ² 打1根。钢拱的最大间距2.5m	采用钢筋网喷混凝土10~15cm,锚杆长3~4m,每3~5m ² 打1根	
锚定危险岩层,在下一掘进之前,根据需要进行喷混凝土和安装钢拱支撑,在下次掘进以前进行。系统地打锚杆,在每两次掘进以前进行	喷锚使其成为支撑结构,并在拱部与边墙用钢拱加固,加强隧道底板或用仰拱	采用钢筋网喷锚20~25cm,锚杆长4~6m,每1~2m ² 打1根。钢拱支撑间距1~1.75m,局部用背板	采用钢筋网喷锚15~25cm,锚杆长4~5m,每2~3m ² 打1根,钢拱支撑间距1~3.5m	
锚定危险岩层,可先走一步,在下次掘进以前进行喷混凝土和安装钢拱支撑,系统地安装锚杆也在下次掘进前进行	喷锚使其成为强有力的支撑结构,并在拱部与边墙用钢拱支撑加固。加强隧道底板或用仰拱	采用喷混凝土20~25cm,锚杆长4~8m,每0.5~1.5m ² 设置1根,钢拱支撑间距0.5~1m,根据需要采用密集背板		若长时间停工,必要时在工作面设置背板
所有支护措施,必须在下次掘进前进行,开挖后立即对开挖面所有暴露部分进行支护	采用喷锚,使其成为强有力的支撑结构,在拱部与边墙用钢拱支撑加固,支撑开挖面。采用仰拱	采用钢筋网喷混凝土20~30cm,锚杆长6~8m,每0.5~1.5m ² 设置1根,钢拱间距为0.5~1.0m,根据需要采用密集背板		喷混凝土5~10cm,按照需要采用背板
所有支护措施,必须在下次掘进前进行。支护先行,例如在开挖面前采用背板	采用喷锚,使其成为强有力的支撑结构,并在拱部与边墙用钢拱支撑加固,支撑先行,如采用背板仰拱	采用钢筋网喷混凝土20~30cm,锚杆长1~8m,每0.5~1.5m ² 设置1根,钢拱间距为0.5~1.0m,根据需要拱部和边墙采用背板		按照需要喷混凝土
所有支护措施,必须在下次掘进前进行,在每次开挖之后,即对挖开的开挖面每个部分进行支撑,在开挖面前先行支护	采用喷锚,使其成为强有力的支撑结构,在拱部与边墙用钢拱支撑加固,支撑先行,如用背板和开挖面的支撑采用仰拱	采用钢筋网喷混凝土25~30cm,锚杆长6~8m,每0.5~1.5m ² 设置1根,钢拱间距为0.5~1.0m,背板厚4~5mm,相互联接或用钢管注浆锚杆		在开挖面的上部和下部喷混凝土,根据需要采用背板等辅助支护
这种方法是每个个别段落掘进前或随着掘进进行制定	特殊方法:冻结法,在开挖面前5m多的地方,预先注浆			
所有支撑措施,包括必要时预先打入的钢杆,必须在下次掘进前做好,掘进过程,包括设置仰拱,应按量测结果决定	喷锚,使其成为强有力的支撑结构,在拱部与边墙用钢拱支撑加固,根据局部需要打锚杆,采用仰拱	喷混凝土25~30cm,挂钢筋网1~2层,锚杆长3~5m,与断面分部相适应,钢拱支撑间距0.8~1.2m,背板厚3~4mm或按照需要选用		按照需要,在工作间歇时间长时在工作面上喷混凝土
所有支撑措施,包括预做的背板,注浆管锚杆,必须在下次掘进前做好。在开挖面后10m掘仰拱	喷锚,使其成为强有力的支撑结构,在拱部与下部用钢拱支撑加固,根据局部需要,采用锚杆和预先采用支撑,例如背板或灌浆管锚杆,采用仰拱	喷混凝土25~30cm,挂钢筋网1~2层,锚杆长3~6m,与断面分布相适应,钢拱支撑间距0.8m,背板厚4~5mm或按照需要选用,用钢管注浆锚杆长4~6m		在工作面的上部和下部喷混凝土,必要时再用背板支撑

并符合地质情况。

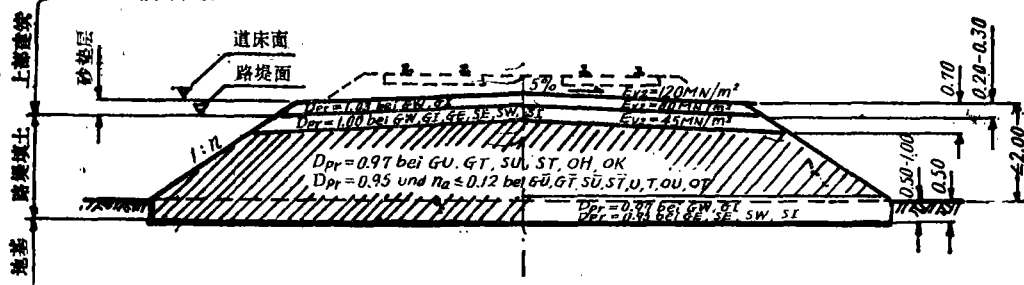
物质和易于膨胀的围岩,根据需要可在上部掘进时临时闭合底板,使其成环,

对于混合和细粒土壤压实度的最低要求

a) 路堤高 $> 2\text{m}$



b) 路堤高 $< 2\text{m}$



符号说明:

E_{v2} = 变形模量

D_{pr} = 压实度 g_d / g_{pr}

GW, GE, US, W = 渗水性土壤

n_a = 细粒和混合土壤的气孔隙

粗粒土

混合和细粒土

压实地基或改善后的地基

图 十六

表二

压路机类别		适用性(E)										填土率(H)										压实遍数(U)										现场条件							备 注																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		粘性粗粒土					粘性细粒土					粘性混合土					石					路堤路基					路面					管沟																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		砂					粘土、粘土					含石量少					块长400mm					约束					无约束					北后																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E		H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E	H	U	A _{nz}	E