

南淝河中游左岸(板桥河入口~寿春路桥)

河堤边坡稳定性复核报告

设计证书编号：建设部甲级 110121-sj

合肥市市政设计院有限公司

2006 年 10 月

目 录

1	工程概况	1
2	工程地质勘察	2
2.1	工程水文	2
2.2	工程地质	2
2.3	勘察及勘察成果分析	3
3	河堤边坡稳定性复核.....	4
3.1	河堤边坡工程调查	4
3.2	河堤的工程级别及抗滑稳定安全系数	4
3.3	河堤边坡失稳模式的分析和计算公式	6
3.4	河堤边坡稳定性复核的岩土参数	10
3.5	河堤现状边坡稳定性复核	11
3.6	河堤长期使用边坡稳定性分析	12
4	河堤改造方案比选及改造内容	14
4.1	河堤改造方案比选	14
4.2	改造后河堤稳定性计算	18
4.3	其它改造内容	19

1 工程概况

南淝河中游左岸(板桥河入口~寿春路桥)河堤全长约 1180m，其中板桥河入口(沿河路桥)~古井桥段长约 330m，古井桥(双河村泵站)~交通厅桥段长约 360m，交通厅桥~寿春路桥段长约 490m。各段河堤现状描述见下表：

表 1

项目	堤路	栏杆	护坡		
具体分段	道路 高程	栏杆 型式	平台宽度及高程	平台以上浆 砌片石护坡	平台以下浆 砌片石护岸
板桥河入口~ 古井桥，长 330m	16.80~ 16.60	石柱 铁艺 栏杆	无二级平台，自坡顶至 河底为 1：1.5 单一护坡		
古井桥~交通 厅桥，长 360m	16.60~ 16.00	石柱 铁链 栏杆	宽约 2.0m， 高程 10.00~11.00m	1：2.0	1：1.5
交通厅桥~寿 春路桥，长 490m	16.00~ 15.20		约 2.5m 宽， 高程约 11.00m	1：1	

河堤堤顶道路顺河道走向，其横断面布置如下：2.2m 人行道+5.6m 车行道+1.2m 人行道(临坡侧)。目前道路为混凝土路面，路面纵向裂缝普遍发展，损坏严重。

2 工程地质勘察

2.1 工程水文

南淝河是合肥市的“母亲河”，合肥市主城区跨南淝河生息繁荣。南淝河流域河道全长约 70km，流域总面积 1464km²。南淝河中游左岸(板桥河入口～寿春路桥)河堤全长约 1180m，河底高程约 6.3m，堤路高程约 16.80～15.20m，河底宽 25m～36m，河口宽 36m～48m。根据合肥市防洪规划，南淝河正常蓄水位约 9.00～9.50m，本段百年一遇防洪水位约 15.40m。

2.2 工程地质

根据合肥市勘察院提供的本工程勘察报告，南淝河中游左岸(板桥河入口～寿春路桥)河堤原地形为南淝河河漫滩。现沿河路及河堤地形北高，南低。地面高程 16.80～15.20m，最大高差 1.60m，高程为吴淞高程系。

地貌单元属于南淝河河漫滩，由第四世纪冲积的粘性土及人工填土构成。场地土层自上而下划分及其建议物理力学性质指标如下：

表 2

层序	土名	承载力特征值 fak/kPa	压缩模量 Es1-2/MPa	内聚力 c/kPa	内摩擦角 Φ/°
①	杂填土	120	6.5		20
②	粉质粘土	110	6.0	20	8
③	粘土	240	12.0	40	11
④	粉质粘土	150	7.5	25	9

2.3 勘察及勘察成果分析

2003 年 5 月省地球物理地球化学勘查技术院曾对交通厅桥至双河村泵站(古井桥)河堤边坡用时间域瞬变电磁法进行过地球物理探测并出具了探测成果报告,报告对河堤边坡 0-4m 深度范围内边坡体缺陷部位进行了圈定,但对缺陷体的性质并未作进一步的分析。实际上,物探多作为辅助手段配合其它勘探方法使用,成果常具多解性,无其它方法配合易误判。另外物探的局限性在于:(1)必须具备物性差距;(2)必须有效地排除干扰。工程经验表明,该法用于堤防隐患探测时,对浅部不均匀体的异常物性反映不够明显,但对深部地层划分具有一定效果。

鉴于此,为使本河堤改造工程建立在坚实的勘察成果基础上,合肥市勘察院综合运用调查、钻探、静力触探(具有地层反应连续性强、精度高,反映直观、经济的特点)和动力触探等多种勘察手段对全线河堤进行了详细勘察,其纵向勘探线沿河堤走向布置,横向勘探线垂直于河堤走向布置,横向勘探剖面间距约 100m;每个横向勘探剖面上布置 3 个钻孔,其中堤顶道路、护坡上半部和二级平台各一个孔,钻孔间距 6-12m,钻孔深度以能揭示河堤土层空间分布和满足河堤边坡稳定性分析为准。最后,勘察报告认为“从轻便动探 N10 结果反应较均匀,N10 一般在 30 击左右。从 5m 手钻反应在片石下个别点见空洞。”

综上所述,考虑到各种勘探方法的使用条件和优缺点,根据一般工程经验,本次河堤改造工程设计时将以合肥市勘察院出具的勘察报告为准,物探报告在河堤注浆加固时作参考之用。

3 河堤边坡稳定性复核

3.1 河堤边坡工程调查

一般而言，边坡失稳滑动前有以下几点迹象：①、边坡中地下水的水位和水质发生显著变化，边坡坡角附近湿地增多且范围扩大；②、边坡上部出现弧形裂缝，坡脚附近土、石被挤紧并出现大量鼓胀裂缝，边坡中部被纵、横裂缝所分割；③、边坡上部不断下陷，其上建筑物开裂并变形；④、边坡下部的土体不断上拱。

根据勘察报告和现场踏勘，河堤“并未发现滑塌现象”。虽然堤顶道路路面基本上全线均有开裂(裂缝平均宽度约 2-3cm)，但“裂缝开裂方向平行于道路走向”，“从现场观察和钻探知，路面砼层之下为碎石灰土垫层，煤渣等。未见裂缝延至垫层中。”因此，目前可以判断堤顶道路裂缝应该是因为道路超载和路基土不均匀沉降引起的沉陷裂缝，而且裂缝深度仅在道路面层范围内，不是滑坡性的裂缝。

3.2 河堤的工程级别及抗滑稳定安全系数

根据国家标准《防洪标准》(GB50201-94)和《合肥市城市防洪规划报告》，合肥市的城市防洪标准为 100 年一遇。南淝河中游左岸河堤(板桥河入口～寿春路桥)是市区封闭防洪堤建设的重要组成部分，该段河堤的防洪标准亦为 100 年一遇。根据《堤防工程设计规范》(GB50286-98)，该段河堤的工程级别为 1 级，其相应的设计工况下抗滑稳定安全系数见下表：

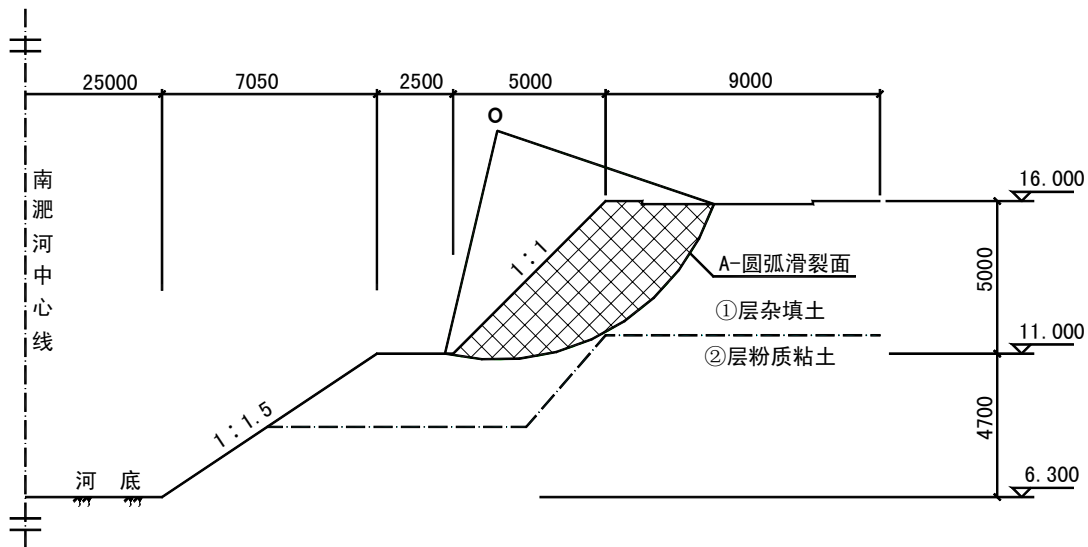
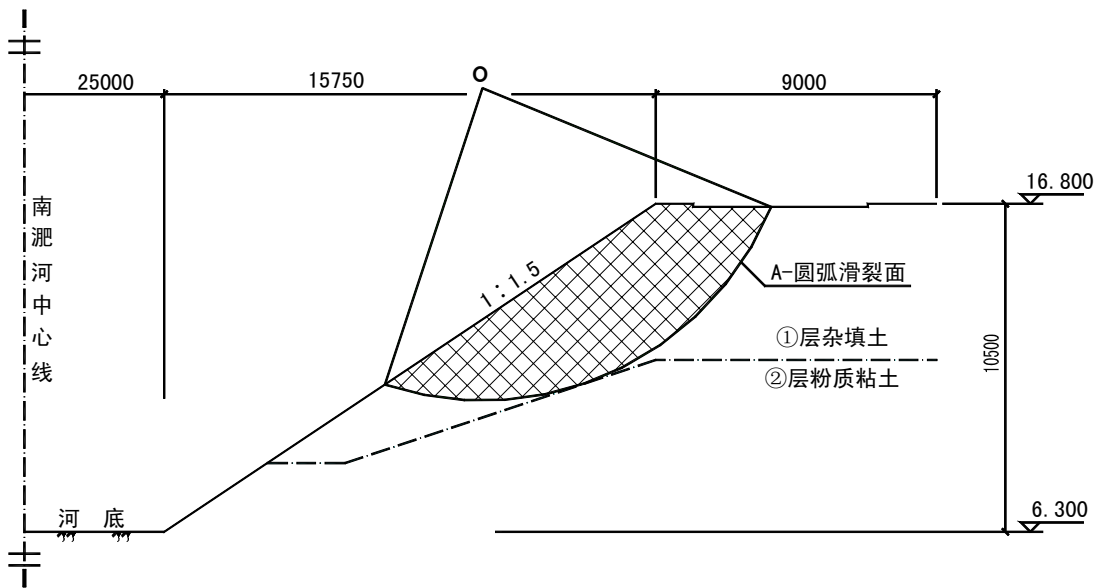
表 3

抗滑稳定安全系数 [K]		圆弧滑动法	折线滑动法
设计工况			
正常情况	1、河堤正常使用期	1.30	1.35
	2、设计洪水位骤降期		
非常情况	3、河堤改造施工期	1.20	1.25
	4、地震期		

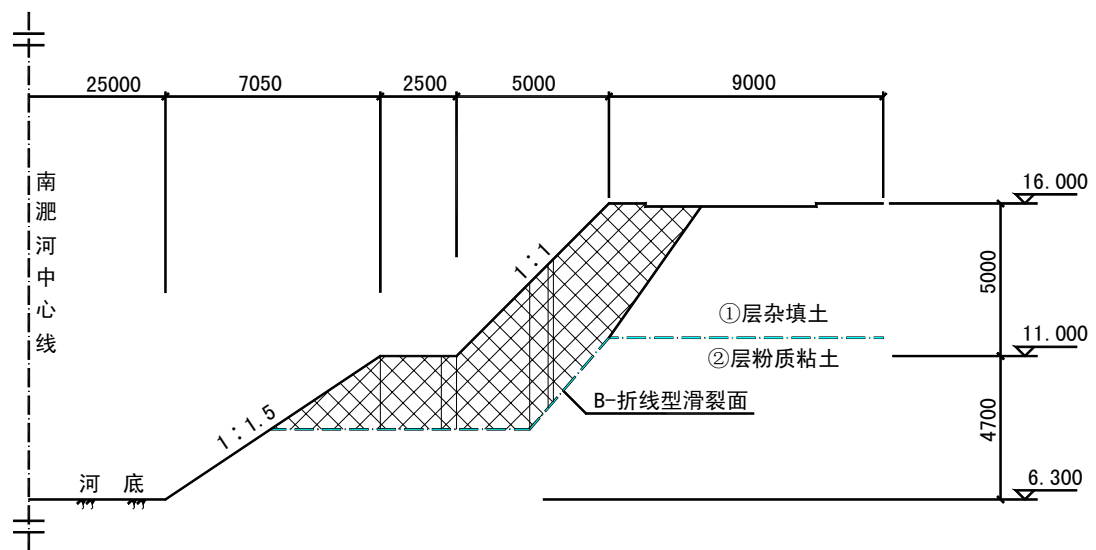
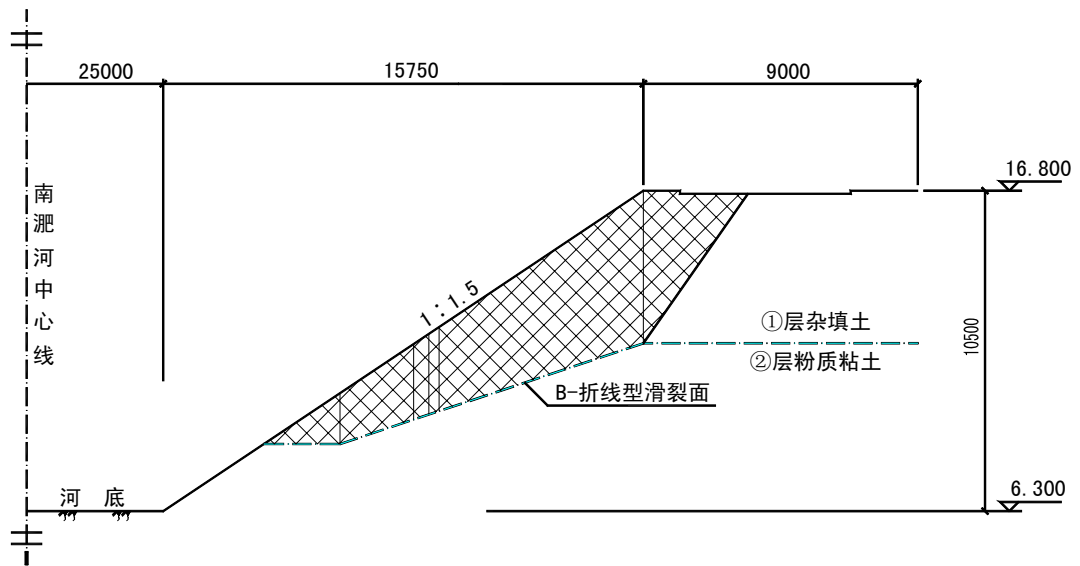
3.3 河堤边坡失稳模式的分析和计算公式

根据河堤现状断面尺寸和河堤土层空间结构与工程地质情况可知，影响该段河堤边坡稳定性的主要土层为①层杂填土和②层粉质粘土，该边坡可能的破坏方式有三种：

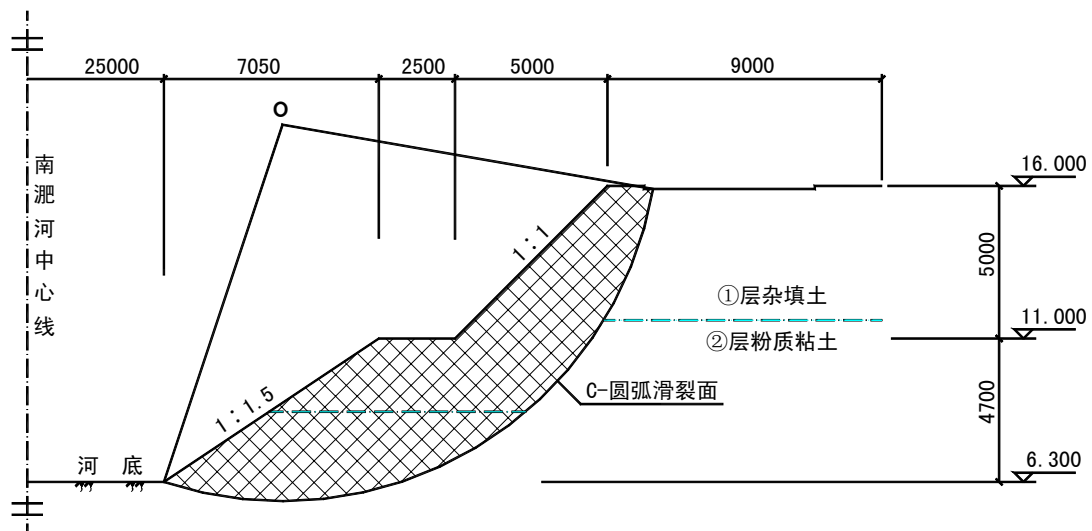
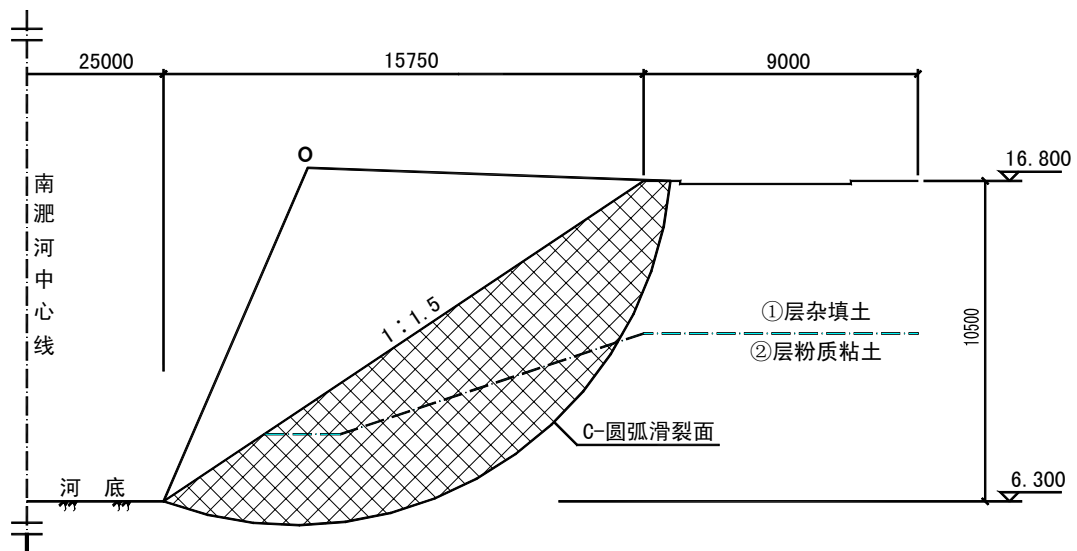
A、在匀质土层①层杂填土内发生的局部圆弧滑动；



B、沿①层杂填土和②层粉质粘土土层接触面发生的折线型滑动;



C、 将①层杂填土当作堆载，主要在②层粉质粘土内发生的整体圆弧滑动。以上三种滑动模式均为浅层滑动。



对于圆弧滑动，采用圆弧滑动法中的简化毕肖普法 (Bishop) 方法对其稳定性进行分析和计算。简化 Bishop 定义边坡稳定安全系数为：

$$F_s = \frac{\sum \frac{1}{m_{\alpha i}} (c_i l_i \cos \alpha_i + W_i \tan \varphi_i)}{\sum W_i \sin \alpha_i}$$

式中： $m_{\alpha i} = \cos \alpha_i + \frac{\sin \alpha_i \tan \varphi_i}{F_s}$ ； c_i 、 φ_i 、 l_i 分别是第 I 滑块的粘聚力、内摩擦角和弧长； W_i 是第 I 滑块的自重； α_i 是条块底面中心的法线（过圆心）与过圆心 O 的铅直线间的夹角。

对于折线型滑动，根据《岩土工程勘察规范》（GB50021-94）采用剩余推力法计算滑坡稳定系数 F_s ，计算公式如下：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j \right) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \left(T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j \right) + T_n}$$

$$P_i = P_{i-1} \cdot \psi + F_{st} \cdot T_i - R_i$$

$$\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1}$$

$$T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + C_i L_i$$

$$N_i = Q_i \cos \theta_i$$

$$T_i = Q_i \sin \theta_i$$

式中： F_s —稳定系数； R_i —第 i 块段滑体所受的抗滑力 (kN/m)； N_i —第 i 块段的抗滑力 (kN/m)； Q_i —第 i 块段滑体所受的重力 (kN/m)； R_i —作用于第 i 块段的抗滑力 (kN/m)； C_i —第 i 块段土的粘聚力 (kPa)； φ_i —第 i 块段土

的内摩擦角($^{\circ}$)； L_i —第 i 块段滑动面长度(m)； T_i —作用于第 i 块段滑动面上的滑动分力(kN/m)； ψ_j —第 i 块段的剩余下滑动力传递至 $i+1$ 块段时的传递系数 ($j=i$)； P_i 、 P_{i-1} —第 i 块滑体的剩余下滑力 (kN)； F_s —滑坡推力计算安全系数。

3.4 河堤边坡稳定性复核的岩土参数

在边坡破坏模式和边坡稳定性计算方法确定后，正确选用土体抗剪强度参数就成为影响边坡稳定性的决定性因素。对压实填土而言，虽然其抗剪强度与填土性质、亲水性、颗粒大小、几何形态、级配、粘粒含量及压实程度等诸多因素有关，但是，其抗剪强度与干容重却有着良好的相关性。在填土物性条件一定的情况下，其抗剪强度与干容重呈正比。根据本工程勘察报告，结合相关专业文献和岩土工程实践经验，最终确定河堤各土层的抗剪强度参数如下表：

表 4 边坡稳定性复核的计算参数

层号	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ ($^{\circ}$)
①层杂填土	18.8	8	17
②层粉质粘土	19.8	25	12

3.5 河堤现状边坡稳定性复核

根据河堤现状断面，选取两个代表性断面进行边坡稳定性复核，其中板桥河入口～古井桥段河堤和古井桥～寿春路桥段河堤代表性断面边坡稳定性复核分别见下：

表 5 板桥河入口～古井桥段河堤边坡稳定性复核成果

抗滑稳定安全系数 设计工况		A-局部圆弧 滑动	B-折线型滑 动	C-整体圆 弧滑动
正常 情况	1、河堤正常使用期	1.18	1.17	1.37
	2、设计洪水位骤降期	1.17	1.16	1.37
非常 情况	3、河堤改造施工期	1.18	1.17	1.37
	4、地震期	1.10	1.10	1.33

表 6 古井桥～寿春路桥段河堤边坡稳定性复核成果

抗滑稳定安全系数 设计工况		A-局部圆 弧滑动	B-折线型 滑动	C-整体圆 弧滑动
正 常 情况	1、河堤正常使用期	1.05	1.89	1.49
	2、设计洪水位骤降期	1.04	1.85	1.49
非 常 情况	3、河堤改造施工期	1.05	1.87	1.49
	4、地震期	1.00	1.72	1.43

从上两表可知：

1、两段河堤不会发生整体圆弧破坏，即目前全线河堤底层是稳定的，但河堤浅表部位①层杂填土存在局部滑动的可能性；

2、表 5 中局部圆弧滑动法与折线型滑动法在各种设计工况下稳定安全系数非常接近，但考虑到折线型滑动法要求的稳定安全系数较圆弧滑动法的高，因此，该段河堤(板桥河入口～古井桥段)边坡稳定安全计算的控制计算模式为折线型滑动；

3、从表 6 可知，古井桥～寿春路桥段河堤目前不会发生折线型滑动破坏和整体圆弧滑动破坏，其控制计算模式为局部圆弧滑动；

4、板桥河入口～古井桥段河堤折线型滑动法计算的各种抗滑稳定安全系数 $k=1.10\sim 1.17\geq 1.10$ ，目前该段河堤基本稳定，但边坡稳定安全储备太少，不满足《堤防工程设计规范》关于堤防抗滑稳定安全系数的要求；

5、古井桥～寿春路桥段河堤只会发生局部圆弧滑动。该段河堤各种计算抗滑稳定安全系数 $k=1.00\sim 1.05$ ，目前边坡处于临界稳定状态，存在局部圆弧滑动的重大安全隐患。

3.6 河堤长期使用边坡稳定性分析

从河堤边坡长期使用的情况来看，本段河堤堤顶道路纵向裂缝普遍发展(裂缝平均宽度 2～3cm)，护坡砌筑砂浆严重剥落，护坡以下①层杂填土孔隙比较大，这一切都为雨(洪)水入侵下渗提供直接通道。在长期暴雨或洪水的持续作用下，雨(洪)水将不断浸泡、软化河堤土体，洗刷、带走土体中的细小粘粒成分，导致土体的粘聚力不断丧失，内摩擦角降低，并最终严重影响到河堤边坡的抗滑稳定性。

考虑这种可能发生的不利情况，当取①层杂填土 $C=6\text{kPa}$ ， $\Phi=15^\circ$ 时，对河堤控制计算模式下的边坡稳定性进行重新复核，结果如下：

表 7 河堤边坡长期稳定性复核成果

抗滑稳定安全系数		板桥河入口～ 古井桥段河堤	古井桥～寿春 路桥段河堤
设计工况			
正常情况	1、河堤正常使用期	0.96	0.87
	2、设计洪水位骤降期	0.95	0.86
非常情况	3、地震期	0.91	0.82

从上表可知，各种设计工况河堤抗滑稳定安全系数全部大幅 <1.10 ，全段河堤边坡都处于不稳定的严重状态，边坡随时都有可能失稳并造成严重的破坏后果和恶劣的社会、政治影响。

另外，根据本工程勘察报告，“从现场勘探、观察，现未发现河堤不稳定的迹象，但从钻探反映河堤填土多为粉质粘土及粉土，其强度较低，孔隙比较大，从长远角度考虑道路路面沉降仍将有发展。河堤现阶段是稳定的。若路面不进行处理、堤坡面土体不进行硬化处理的话，那么将对河堤稳定性产生不利影响。”由此可以看出，勘察部门对河堤边坡稳定性的评价与本院的理论分析结果基本是一致的，即全线河堤现状基本稳定或处于临界稳定状态，但存在长期边坡失稳的重大安全隐患。

对城市防洪堤这样重要的生命线工程，河堤的边坡稳定安全储备不达标、河堤处于临界稳定状态或存在长期边坡失稳的重大安全隐患都是不可容忍的。因此必须防患于未然，应下决心对本段河堤进行综合改造加固，消除威胁河堤长期稳定的各种隐患，以确保河堤的长期安全正常使用。

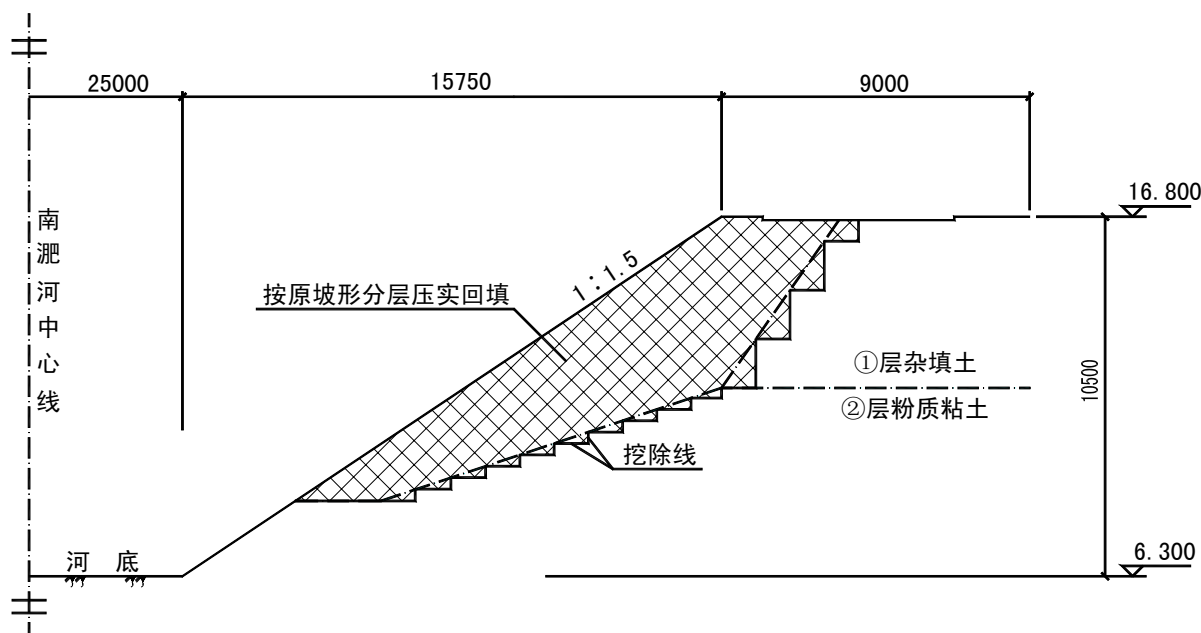
4 河堤改造方案比选及改造内容

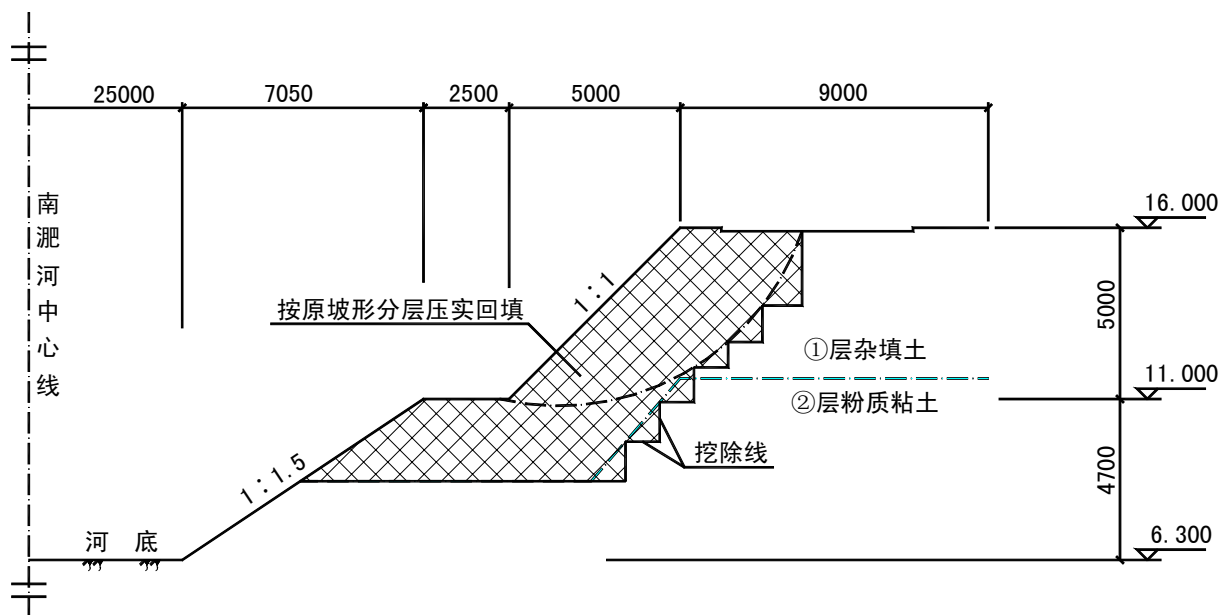
4.1 河堤改造方案比选

综上所述，全线河堤底层是稳定的，但①层杂填土内部或①层杂填土沿其与②层粉质粘土接触面存在局部滑动的可能性，即全线河堤边坡易于失稳的主要部位在于浅表①层杂填土，边坡易于失稳的关键因素在于①层杂填土填筑不够密实，孔隙比较大，抗剪强度较低。因此，河堤改造的关键应是着眼于增强河堤上覆土层的密实性，提高土体的抗剪强度以稳定河堤边坡。

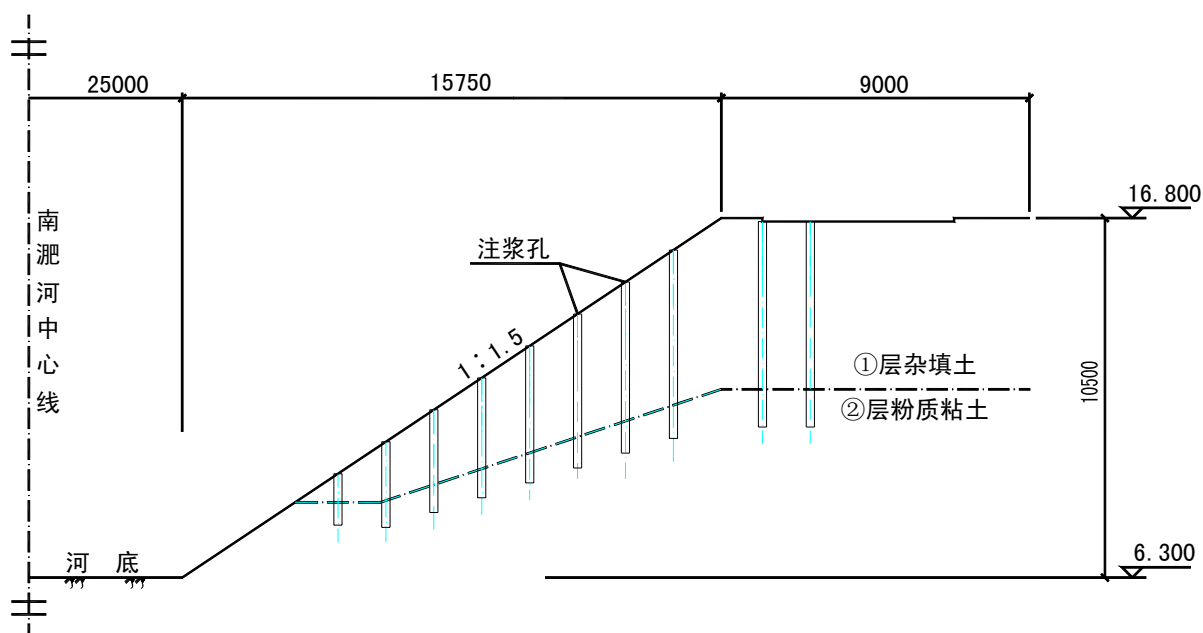
鉴于此，本院在充分讨论的基础上，提出本段河堤改造的两个方案：

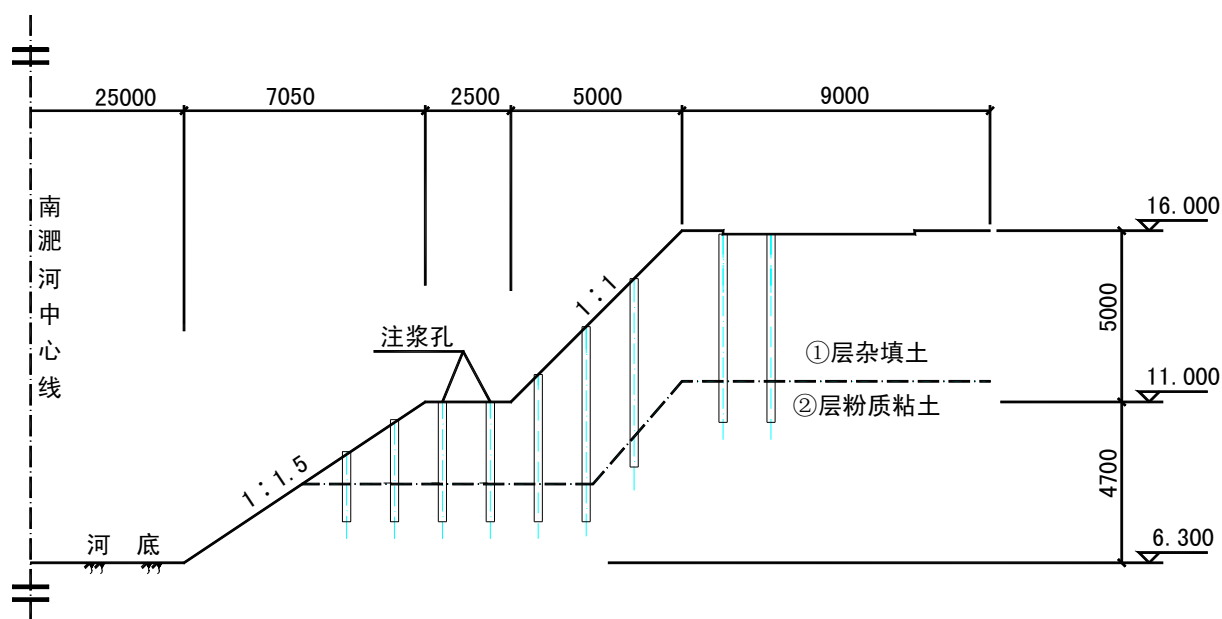
方案一：将①层杂填土全部挖除并重新回填。挖除应从堤顶开始，逐级开挖，沿着潜在滑动面挖成锯齿形并且必须一直挖至潜在滑动面以外 1.0m，以便保证回填新老土的良好结合。回填时则应严格按照《堤防工程设计规范》(GB5000286-98)的要求自下而上逐级分层填筑并夯实。该方案的优点是施工简单，不需三材；缺点是土方开挖和填筑方量大。





方案二：注浆加固①层杂填土。该法加固的基本原理是：利用杂填土孔隙大，可灌性好，使用专用机械以一定的压力将水泥粘土浆强行灌入杂填土，以水泥本身的高强来增补土体的强度。该方案的优点是：注浆加固技术成熟可靠，不需要土方；缺点是：需要一定量的水泥。





两方案的目的相同，不同点在于实现提高①层杂填土的抗剪强度的方法，其比较见下页表格。在充分考虑到河堤的现实情况和方案的具体特点后，本院推荐采用方案二，即注浆加固①层杂填土，理由如下：(1)、注浆加固技术成熟可靠，施工质量容易保证；(2)、注浆加固方案造价经济，其直接造价仅为开挖回填的 65%左右；(3)、注浆加固用时省，工期较短；(4)、注浆加固方案对河堤破坏小，对周围环境和居民生活影响小。

表 8 河堤改造方案比较表

项目		比较内容
方案一： 挖 除 重 填	方案特点	先挖除杂填土再自下而上逐级分层填筑并夯实，通过增强杂填土的密实性来提高土体的抗剪强度从而稳定河堤边坡。
	方案优点	1、施工简单，不需三材。
	方案缺点	1、需对现状河堤进行大开挖，土方运输、填筑方量大。 2、施工要求严格，施工质量不容易保证。 3、工期较长。
	方案造价	本挖除重填方案直接造价约 340.8 万元。
项目		比较内容
方案二	方案特点	通过将水泥粘土浆注入杂填土，以水泥本身的高强来增补土体的强度从而稳定河堤边坡。
	方案优点	1、注浆加固技术成熟可靠； 2、不需要土方开挖和填筑； 3、工期较短。
	方案缺点	1、需要一定量的水泥；
	方案造价	本注浆加固方案直接造价约 221.60 万元。

注：方案一土方回填时考虑掺 10%生石灰。

4.2 改造后河堤稳定性计算

由于本工程①层杂填土孔隙大，可灌性好，注浆加固后其抗剪强度将得到明显的加强。根据相关工程经验，预计注浆后①层杂填土抗剪强度指标为 $C=10\text{kPa}$ ， $\Phi=22^\circ$ ，则相应的边坡稳定性计算如下表：

表 9 注浆加固后河堤边坡稳定性计算

抗滑稳定安全系数 设计工况		板桥河入口～ 古井桥段河堤	古井桥～寿春 路桥段河堤
正 常 情况	1、河堤正常使用期	1.55 > 1.35	1.36 > 1.30
	2、设计洪水位骤降期	1.53 > 1.35	1.35 > 1.30
非 常 情况	3、地震期	1.46 > 1.25	1.29 > 1.20

由上表可知，注浆加固后全线河堤在控制计算模式下各种设计工况均满足《堤防工程设计规范》的要求。

4.3 其它改造内容

通过工程措施提高①层杂填土的抗剪强度是本次改造工程的核心内容,但不是全部。考虑到堤顶道路严重损坏,护坡砌筑砂浆严重剥落,堤顶栏杆型式不统一,从“封闭地表雨水下渗入侵土堤”的角度和改造的全面性出发,还需要对堤顶道路、护坡和栏杆等一并综合改造,具体改造内容见下表:

表 10

序号	工程范围	改造内容
①	对本工程全线道路	进行破除,改建为沥青路面
②	将板桥河入口~交通厅桥段长约 700m 石柱铁链栏杆	统一改换为石柱铁艺栏杆,以与交通厅桥~寿春路桥两侧堤顶栏杆统一
③	对全线护坡及平台等	进行拆除重砌,并对板桥河入口~古井桥段河堤增设一级平台。

