

公路工程设计计算实例之二

公路桥涵地基基础设计 计算实例

赵 嘉 行

一九八九年九月

公路工程设计计算实例之二

公路桥涵地基基础设计 计算实例

赵 嘉 行

一九八九年九月

前 言

应公路测设、养护、施工及管理部门基层技术工作者要求，组织编写了这套由四册组成的《公路工程设计计算实例》，作为内部技术参考资料铅印交流。本套实例按照交通部最新颁布的规范、文件和规定计算。各册实例内容如下：

《公路小桥涵洞设计计算实例》。列举了钢筋混凝土和予应力混凝土管涵、砖、石、混凝土管涵和拱涵、钢筋混凝土箱涵，钢筋混凝土及予应力混凝土正、斜交板涵和桥（涵）台，八字翼墙等工程的设计计算实例。由苏清洪副教授编著。

《公路桥涵地基基础设计计算实例》。列举了刚性扩大基础、桩基础、沉井基础以及地基加固中的砂桩、砂井和砂砾垫层，常用挡土墙等工程的设计计算实例。由赵嘉行副教授编著。

《公路路基路面工程设计计算实例》。列举了路基横断面、路基排水、路基防护、路堤边坡及稳定，软土地基的路基工程设计及沉降量计算。路基爆破及柔性路面（新建和改建补强），水泥混凝土路面及路面养护等工程的设计计算实例。由文德云高级讲师编著。

《公路工程概算预算计算实例》。列举了线路工程、独立大、中桥工程的计算实例。对具体工程在编制概算预算列项时，应如何使用现行定额、有关定额的补充、抽换，审核和补充计算工程量的方法，材料平均运距等的计算，结合典型实例演算并作了详尽说明。由杨子敏讲师编著。

本套实例由袁浦霖副教授校阅。它是编者结合自己的工程实践经验和教学中积累的资料编成的。它汇集了常见中小型公路工程各类结构物，各个设计环节的设计计算方法、步骤和最新规范，规定，手册条文的具体运用。引用典型实例作出演算以成范例，脉络清晰易于领会。它将成为公路工程测设，养护，施工及管理部门，具有一定实践经验的基层技术人员，掌握公路工程设计计算的一套实用性参考资料。它还将成为有关专业大专和中专学生课程作业，毕业设计和未来工作中的宝贵技术资料。也可供有关院校的专业教师参考。

本册计算实例由赵嘉行编写，参加各算例计算工作的有李坚、杨子敏、阳旺云、吴湘等。热切希望读者提出批评和建议。可寄：

长沙交通学院153信箱“公路工程设计计算实例”编写小组

目 录

第一章 天然地基上的浅基础	(1)
第一节 刚性扩大基础尺寸的拟定.....	(1)
第二节 荷载计算.....	(10)
第三节 基底应力计算.....	(27)
第四节 地基承载力.....	(33)
第五节 基底合力偏心距计算.....	(43)
第六节 下卧软土层承载力验算.....	(46)
第七节 基础沉降计算.....	(47)
第八节 地基基础稳定性验算.....	(55)
第九节 刚性扩大基础计算算例.....	(61)
第十节 涵洞地基与基础验算.....	(69)
第二章 桩 基 础	(75)
第一节 单桩轴向容许承载力的确定.....	(75)
第二节 单桩在横轴向力作用下内力及位移计算.....	(79)
第三节 单排桩荷载分配.....	(103)
第四节 多排桩荷载分配.....	(105)
第五节 桩身强度与稳定性计算.....	(113)
第六节 承台与群桩验算.....	(117)
第七节 桩基础综合算例.....	(123)
第三章 沉井基础	(145)
第四章 人工地基	(161)
第一节 砂砾垫层.....	(161)
第二节 砂井.....	(163)
第三节 砂桩.....	(164)
第五章 挡土墙	(165)
第一节 重力式路肩挡土墙验算.....	(165)
第二节 重力式路堤挡墙土验算.....	(169)
第三节 路堑挡土墙验算.....	(172)
第四节 恒重式路肩挡土墙验算.....	(174)
主要参考书目	(180)

第一章 天然地基上的浅基础

第一节 刚性扩大基础尺寸的拟定

在拟定刚性扩大基础尺寸时，其主要工作为确定：

- 1. 纵断面上各部位（支座顶面、基础顶面、基础底面等）的标高；
- 2. 各部位平面尺寸和结构尺寸。

与上部结构尺寸有关的墩、台结构尺寸见规范中有关结构部分。本章阐述确定基础底面标高的有关计算。

基底的标高应符合基础最小埋置深度的要求。其中主要设计计算内容为河流冲刷深度计算和冻结深度计算。

一、河流冲刷深度计算

河床的一般冲刷和局部冲刷依据桥位断面的水文水力要素及河床土质条件进行计算。其设计计算按《公路桥位勘测设计规程（试行）JTJ062—82》进行

我国目前常用的一般冲刷64—1公式、64—2公式和局部冲刷65—1公式、65—2公式是根据模型试验和观测资料建立的经验公式。实际工作中，应根据其适用范围，采用多个公式计算、相互比较，选用适合具体情况的计算结果。

《公路桥位勘测设计规程》中第8.4.6条件给出的粘性土河床冲刷计算在1982年已进行修改，算例中相应部分已按修正后的公式计算。

例1—1—1 $\times\times$ 桥初步选定为13孔25米T型简支梁桥，双柱式桥墩 $D=1.15\text{m}$ ，下部为钻孔灌注桩基础。据水文计算，设计流量 $Q_s=5264\text{m}^3/\text{s}$ ；设计水位 $H_s=276.54\text{m}$ ；设计断面附近的最大水深 $h_{\text{max}}=5.8\text{m}$ ；设计断面上平均水深 $h_j=2.89\text{m}$ ；河槽平均流速 $V_c=3.10\text{m}/\text{s}$ ；造床流量时水面宽度 $B=324\text{m}$ ；造床流量时的河槽平均水深 $\bar{H}=2.06\text{m}$ ；造床流量时的河槽最大水深 $H_{\text{max}}=3.64\text{m}$ ，桥位与河道正交，河道顺直；汛期含沙量 $\rho=27.2\text{KN}/\text{m}^3$ ；河床表层为中砂， $\bar{d}=0.34\text{mm}$ ， $d_{85}=0.68\text{mm}$ ， $d_{95}=0.82\text{mm}$ ，厚度为 1.2m ；底层为砂砾石， $d_j=6.18\text{mm}$ ， $d_{85}=26\text{mm}$ ， $d_{95}=34\text{mm}$ 。

计算断面在设计水位时各水文要素如表1—1

表1—1

项 目	左 河 滩	河 槽	右 河 滩	合 计
水面宽度 (m)	153	324	198	675
平均水深 (m)	1.80	4.22	1.54	$h_j=2.89$
最大水深 (m)	2.10	5.80	1.80	$h_{\text{max}}=5.80$
过水面积 (m ²)	274	1370	306	1950
平均流速 (m/s)	1.85	3.10	1.67	
天然状态下流量 (m ³ /s)	507	4246	511	5264

根据冲刷计算确定基础最小埋置深度。

解：（一）桥下一般冲刷计算

桥长约325m，河槽宽324米，桥孔压缩全部河滩。做按桥下河槽一般冲刷计算。

1.按《公路桥位勘测设计规程》〔1〕（8.4.3—1）式，即64—1公式计算：

$$A = \left(\frac{\sqrt{B}}{H} \right)^{0.15} = \left(\frac{\sqrt{324}}{2.06} \right)^{0.15} = 1.39$$

$$L_j = 13 \times (25 \times 1.15) = 310 \text{ (m)}; h_j = 4.22 \text{ m};$$

由 $\rho = 27.2 \text{ NK/m}^3$ 查〔1〕中表8.4.3—1得 $E = 0.66$;

由 $V_s = 3.10 \text{ m/s}$ 查〔1〕中表8.4.3—2得 $\mu = 0.96$ 。

一般冲刷后最大水深为：

$$h_P = \left[\frac{A Q \left(\frac{h_{max}}{h_c} \right)^{\frac{5}{3}}}{\mu L_j E d^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{3}{5}} = \left[\frac{1.39 \times \frac{5264}{0.96 \times 310} \times \left(\frac{5.8}{4.22} \right)^{\frac{5}{3}}}{0.66 \times 6.18^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{3}{5}} = 10.04 \text{ (m)}$$

2.按〔1〕中（8.4.3—3）式，即64—2公式计算：

$$B_2 = L_j = 310 \text{ (m)}; Q_2 = Q_s = 5264 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$K = 1 + 0.02 \lg \frac{H_{max}}{\sqrt{H \cdot d}} = 1 + 0.02 \lg \frac{3.64}{\sqrt{2.06 \times 0.00618}} = 1.03$$

$$\frac{h_1}{d_{0.5}} = \frac{5.8}{0.034} = 170.6; \quad \lambda = \frac{b}{L} = \frac{1.15}{25} = 0.038$$

由〔1〕中表8.4.3—3 可得 $m_1 = 0.234$

一般冲刷后的最大水深

$$h_P = K \left(A \frac{Q_2}{Q_c} \right)^{4m_1} \left[\frac{B_c}{\mu(1-\lambda)B_2} \right]^{3m_1} h_{max} = 1.03 \times \left(1.39 \times \frac{5264}{4246} \right)^{4 \times 0.234} \left[\frac{324}{0.96 \times (1-0.038) \times 310} \right]^{3 \times 0.234} \times 5.8 = 10.84 \text{ (m)}$$

（二）桥墩局部冲刷计算

1.按〔1〕中第8.4.5条65—1公式计算

采用计算一般冲刷时的垂线冲止流速作一般冲刷后的垂线平均流速，故按64—1式有：

$$\bar{V} = E d_j^{\frac{1}{6}} h_P^{\frac{2}{3}} = 0.66 \times 6.18^{\frac{1}{6}} \times 10.04^{\frac{2}{3}} = 4.16 \text{ (m/s)}$$

或按（8.4.3—4）式

$$\bar{V} = \left[\frac{B_c}{\mu(1-\lambda)B_2} \right]^{\frac{1}{4}} \bar{V}_c = \left[\frac{324}{0.96 \times (1-0.038) \times 310} \right]^{\frac{1}{4}} \times 3.10 = 3.20 \text{ (m/s)}$$

结合实际情况分析，采用 $\bar{V} = 4.16 \text{ m/s}$ ， $\bar{d} = 6.18 \text{ mm}$ ， $h = h_P = 10.84 \text{ m}$ ，查〔1〕中表8.4.5—2得： $V_o' = 1.2$ ；查〔1〕中表8.4.5—3， $V_o'' = 0.43$ 。

由以上计算得 $\bar{V} > V_o'$ ，故采用〔1〕中（8.4.5—2）式计算：

墩形系数查〔1〕中表8.4.5—1得 $K_t = 1.0$ ；

查〔1〕中图8.4.5—1，由 $\bar{d} = 6.18 \text{ mm}$ 得 $K_{n1} = 1.0$ ；

查〔1〕中图8.4.5—2，由 $\bar{V} = 4.16 \text{ m/s}$ ， $\bar{d} = 6.18 \text{ mm}$ ， $V_o' = 1.2$ ，得 $n_1 = 0.72$ 。

$$h_b = K_t K_{\eta_1} b_1^{0.6} (V_0 - V_0') \left(\frac{\bar{V}}{1.2} \right)^{n_1}$$

$$= 1.0 \times 1.0 \times 1.15^{0.6} \times (1.2 - 0.43) \left(\frac{4.16}{1.2} \right)^{0.72} = 2.05 \text{ (m)}$$

2. 按〔1〕中第8.4.5条65—2公式计算

系数 K_{η_1} 查〔1〕中图8.4.5—3, 由 $\bar{d}=6.18\text{mm}$ 得 $K_{\eta_1}=0.58$;

V_0^* 、 $V_0^{*'}$ 查〔1〕中图8.4.5—5 得 $V_0^*=0.8$, $V_0^{*'}=0.45$;

查〔1〕中图8.4.5—4, 由 $V=4.16\text{m/s}$, $V_0^*=0.8$, $\bar{d}=6.18\text{mm}$ 得 $n_1=0.48$ 。

由以上得 $\bar{V} > V_0^*$, 故采用〔1〕中(8.4.5—4)计算:

$$h_b = K_t K_{\eta_1} b_1^{0.6} h_P^{0.15} \left(\frac{\bar{V} - V_0^{*'}}{V_0^*} \right)^{n_2}$$

$$= 1.0 \times 0.58 \times 1.15^{0.6} \times 10.84^{0.15} \left(\frac{4.16 - 0.45}{0.8} \right)^{0.48} = 1.88 \text{ (m)}$$

(三) 基础最小埋置深度的确定

按以上计算, 取 $h_P=10.84\text{m}$ $h_b=2.05\text{m}$, 可考虑取 $\Delta h=0$ (根据〔1〕中第8.4.2条) 可得最大冲刷深度 h_m (Δh 为建桥后的天然冲刷)。

$$h_m = h_P + h_b = 10.84 + 2.05 = 12.89 \text{ (m)}$$

用于桩基计算的最低冲刷线标高为:

$$H_{min} = 276.54 - 12.89 = 263.65 \text{ (m)}$$

按《桥涵地基基础设计规范》(JTJ024—85)〔2〕, 基底最小埋深查〔2〕中表3.1.1得安全值为 2.5m , 故用于深基础设计的基底标高应不高于以下数值:

$$H_{min} - 2.5 = 263.65 - 2.5 = 261.15 \text{ (m)}$$

例1—1—2 某三级公路跨越平原区次稳定河段(图1—1), 拟建4孔30米T型简支梁桥。桥墩为双柱式圆形墩 $D=1.0\text{m}$, 下部为钻孔灌注桩。根据钻探资料, 河槽部分在河床底以下8m均为砂砾层, 平均粒径 $\bar{d}=2\text{mm}$, $d_{95}=25\text{mm}$; 河滩部分在地面以下6米内为中砂, 表层为疏散耕地。根据调查分析, 进行冲刷计算时, 可用桥位断面作为计算断面。由水文站资料得知, 桥位河段历年汛期平均含沙量 ρ 约为 30KN/m^3 。计算断面在设计水位时各水文要素如表1—2。

表 1—2

项 目	河 滩	河 槽	合 计
水面宽度 (m)	120.6	107.47	
平均水深 (m)	2.57	9.58	
最大水深 (m)	3.38	12.39	
过水面积 (m ²)	310	1030	1340
平均流速 (m/s)	1.0	3.10	
天然状态下流量 (m ³ /s)	310	3190	3500

河槽与河滩粗糙系数分别为 $m_c=40$, $m_t=30$, 造床流量时河床最大水深 $H_{max}=10.16m$ 及平均水深 $\bar{H}=7.86m$, 设计水位标高为 $63.65m$, 试确定墩台最低冲刷线标高。

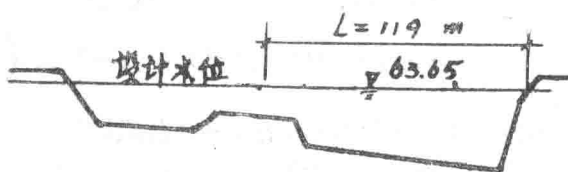


图 1—1 桥位横断面图

解：1. 按 64—1 公式计算河槽一般冲刷

根据两岸及河滩判断，桥下河槽不可能扩宽，故应按河滩与河槽两部分分别进行冲刷计算。

河槽部分桥孔长 $107.47m$

桥孔净长 $L_{Cj}=107.47-3\times 1.0=104.47(m)$

$$\bar{h}_c = \frac{\omega_c}{L_c} = \frac{1030}{107.47} = 9.58(m)$$

$$C_c = m_c h_c^{\frac{1}{6}} = 40 \times 9.58^{\frac{1}{6}} = 58.3(m^{\frac{1}{2}}/s)$$

河滩部分桥孔长 $11.53m$, 即 $L_t=11.53m$

桥下河滩过水面积 $\omega_t=25.19m^2$

$$\bar{h}_t = \frac{\omega_t}{L_t} = \frac{25.19}{11.53} = 2.18(m)$$

$$C_t = m_t h_t^{\frac{1}{6}} = 30 \times 2.18^{\frac{1}{6}} = 34.2(m^{\frac{1}{2}}/s)$$

建桥后桥下断面上河槽部分通过的设计流量按〔1〕中的 (8.4.3—2) 式:

$$\begin{aligned} Q_2 &= \frac{\omega_c C_c \sqrt{\bar{h}_c}}{\sum_{i=1}^n (\omega_i C_i \sqrt{\bar{h}_i})} Q_s \\ &= \frac{1030 \times 58.3 \times \sqrt{9.58}}{25.19 \times 34.2 \times \sqrt{2.18} + 1030 \times 58.3 \times \sqrt{9.58}} \times 3500 \\ &= 0.993 \times 3500 = 3476(m^3/s) \end{aligned}$$

由横断面图可确定平滩水位时的过水面积 $\omega=798m^2$, 相应的水面宽度 $B=101.52m$, 则:

$$\bar{H} = \frac{\omega}{B} = \frac{798}{101.52} = 7.86(m)$$

单宽流量集中系数

$$A = \left(\frac{\sqrt{B}}{\bar{H}} \right)^{0.15} = \left(\frac{\sqrt{101.52}}{7.86} \right)^{0.15} = 1.04$$

由 $\rho=30KN/m^3$ 查〔1〕中表 8.4.3—1 得 $E=0.66$

由 $V_s=3.10m/s$ 查〔1〕中表 8.4.3—2 得 $\mu=0.96$

一般冲刷后最大水深为:

$$h_{ip} = \left[\frac{A^{\frac{1}{6}} L_0 \left(\frac{h_{max}}{h_i} \right)^{\frac{5}{3}}}{E d_i^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{3}{5}} = \left[\frac{1.04 \times \frac{3476}{0.96 \times 104.47} \times \left(\frac{12.39}{9.58} \right)^{\frac{5}{3}}}{0.66 \times 2^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{3}{5}}$$

$$=13.30 \text{ (m)}$$

2. 按64—2公式计算河槽一般冲刷

已知: 天然河槽流量 $Q_C = 3190 \text{ m}^3/\text{s}$

天然河槽宽度近似取 $B_C = 107.47 \text{ m}$

$$K = 1 + 0.02 \lg \frac{H_{max}}{\sqrt{Hd}} = 1 + 0.02 \times \lg \frac{10.16}{\sqrt{7.86 \times 0.002}} = 1.04$$

$$\lambda = \frac{b}{L} = \frac{1.0}{30} = 0.03$$

$$\frac{h_{max}}{d_{95}} = \frac{12.39}{0.025} = 495.6$$

由〔1〕中表8.4.3—3可得 $m_1 = 0.236$

$$\begin{aligned} h_P &= K \left(A \frac{Q_i}{Q_C} \right)^{4m_1} \left[\frac{B_C}{\mu(1-\lambda)B_i} \right]^{3m_1} h_{max} \\ &= 1.04 \times \left(1.04 \times \frac{3476}{3190} \right)^{4 \times 0.236} \times \left[\frac{107.47}{0.96 \times (1-0.03) \times 107.47} \right]^{3 \times 0.236} \times 12.39 \\ &= 15.25 \text{ (m)} \end{aligned}$$

3. 河滩的一般冲刷计算

考虑左岸桥台位于较稳定的河滩上, 桥下河滩不可能扩宽为河槽时, 应按〔1〕中第8.4.4条进行河滩的一般冲刷计算。

河滩桥孔通过的流量:

$$Q_{qt} = Q_s - Q_{qc} = 3500 - 3476 = 24 \text{ (m}^3/\text{s)},$$

河滩桥孔净长: $L_{ti} = L_i = 11.53 \text{ (m)}$;

由桥位断面可得最大水深 $h_{imax} = 2.23 \text{ m}$;

由上面计算得 $\bar{h}_i = 2.18 \text{ m}$;

根据河滩土质(中砂)查〔1〕中附录六得:

$$\frac{V_{D6}}{d^{\frac{1}{6}}} = 0.65;$$

按〔1〕中公式(8.4.4)计算

$$\begin{aligned} h_P &= \left[\frac{Q_{qt} \left(\frac{h_{max}}{\bar{h}_i} \right)^{\frac{5}{3}}}{V_{D6} / d^{\frac{1}{6}}} \right]^{\frac{6}{7}} = \left[\frac{24}{0.96 \times 11.53 \times \left(\frac{2.23}{2.18} \right)^{\frac{5}{3}}} \right]^{\frac{6}{7}} \\ &= 2.90 \text{ (m)} \end{aligned}$$

4. 桥台的偏斜冲刷

左岸桥台因压缩河滩较多, 又未设导流堤, 应考虑产生偏斜冲刷, 按〔1〕中第8.4.6条进行偏斜冲刷计算。

由河流横断面图得左岸桥台前缘水深 $h = 2.14 \text{ m}$, 并可计算出天然状态下通过桥孔范围的流量 $Q_{qti} = 3185 \text{ m}^3/\text{s}$, 故有:

$$K = \frac{Q_P}{Q_{qti}} = \frac{3500}{3185} = 1.10$$

因河滩水流在桥台附近集中, 形成偏斜冲刷深度按〔1〕中(8.4.6—1)式计算:

$$\begin{aligned}
 h_P' &= K[(h_{max} - h) \frac{h}{h_{max}} + h] \\
 &= 1.10 \times [(12.39 - 2.14) \times \frac{2.14}{12.39} + 2.14] \\
 &= 4.30 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

5. 按〔1〕中第8.4.5条进行桥墩局部冲刷计算。

1° 65——公式

一般冲刷后垂线平均流速 $\bar{V}$

按64—2公式计算

$$\begin{aligned}
 \bar{V}_2 &= \left[\frac{B_C}{\mu(1-\lambda)B_z} \right]^{\frac{1}{4}} \bar{V}_C \\
 &= \left[\frac{107.47}{0.96 \times (1-0.03) \times 107.47} \right]^{\frac{1}{4}} \times 3.1 = 3.16 \text{ (m/s)}
 \end{aligned}$$

应换算为桥下河槽最大水深处的垂线平均流速作为冲止流速，此时：

$$V_z = \bar{V}_2 \left(\frac{h_{max}}{h_C} \right)^{\frac{2}{3}} = 3.16 \times \left(\frac{12.39}{9.58} \right)^{\frac{2}{3}} = 3.75 \text{ (m/s)}$$

采用 $\bar{V} = V_z = 3.75 \text{ (m/s)}$ ，根据 $h = h_P = 15.25$ ， $\bar{d} = 2\text{mm}$ ，查〔1〕中表8.4.5—2得 $V_0^* = 0.85$ ；查〔1〕中表8.4.5得 $V_0' = 0.26\text{m/s}$ 。

$\bar{V} > V_0^*$ ，故采用〔1〕中的(8.4.5—2)式计算

墩形系数查〔1〕中的表8.4.5—1得 $K_t = 1.0$

$$K_{\eta 1} = \left(\frac{2.16}{\bar{d}^{0.4}} + \frac{0.11}{\bar{d}^{1.9}} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2.16}{2^{0.4}} + \frac{0.11}{2^{1.9}} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.29$$

$$n_1 = \frac{1}{\left(\frac{\bar{V}}{V_0^*} \right)^{0.2\bar{d}^{0.15}}} = \frac{1}{\left(\frac{3.75}{0.85} \right)^{0.2 \times 2^{0.15}}} = 0.72$$

$$\begin{aligned}
 h_b &= K_t K_{\eta 1} b_1^{0.6} (V_0 - V_0') \left(\frac{\bar{V}}{V_0^*} \right)^{n_1} \\
 &= 1.0 \times 1.29 \times 1.2^{0.6} \times (0.85 - 0.26) \times \left(\frac{3.75}{0.85} \right)^{0.72} \\
 &= 2.47 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

2° 65—2公式

由以上计算知： $\bar{V} = 3.75$ $h = h_P = 15.25$

$$V_0^* = 0.28 (\bar{d} + 0.7)^{0.5} = 0.28 \times (2 + 0.7)^{0.5} = 0.46 \text{ (m/s)}$$

$$V_0' = 0.12 (\bar{d} + 0.5)^{0.55} = 0.12 \times (2 + 0.5)^{0.55} = 0.20 \text{ (m/s)}$$

$$K_{\eta 2} = \frac{0.0023}{\bar{d}^{2.2}} + 0.375 \bar{d}^{0.24} = \frac{0.0023}{2^{2.2}} + 0.375 \times 2^{0.24} = 0.44$$

$$n_2 = \frac{1}{\left(\frac{\bar{V}}{V_0^*} \right)^{0.23 + 0.19 \lg \bar{d}}} = \frac{1}{\left(\frac{3.75}{0.46} \right)^{0.23 + 0.19 \times \lg 2}} = 0.55$$

因 $\bar{V} > V_0^*$ ，应采用〔1〕中(8.4.5—4)式计算

$$\begin{aligned}
 h_b &= K_\xi K_{\eta_2} b_1^{0.6} h_P^{0.15} \left(\frac{\bar{V} - V_0'}{V_0} \right)^{0.2} \\
 &= 1.0 \times 0.44 \times 1.2^{0.6} \times 15.25^{0.15} \left(\frac{3.75 - 0.20}{0.46} \right)^{0.2} \\
 &= 2.27 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

以上局部冲刷计算结果相近, 取 $h_b = 2.47$ 米。

6. 确定墩台最低冲刷线标高

桥位河段层次稳定河段, 考虑冲刷计算中已包括一部分自然冲刷, 可以考虑取 $\Delta h = 0$ 。

1° 河槽中桥墩基础最低冲刷标高;

总冲刷深:

$$h_s = h_P + h_b + \Delta h = 15.25 + 2.47 + 0 = 17.72 \text{ (m)}$$

最低冲刷线标高:

$$H_m = H_s - h_s = 63.65 - 17.72 = 45.93 \text{ (m)}$$

2° 右岸桥台位置紧靠河槽, 宜采用与河槽中桥墩相同的最低冲刷线标高 $H_m = 45.93$ 米;

3° 左岸桥台位于较稳定的河滩上, 可能受到偏斜冲刷, 其局部冲刷考虑安全起见, 采用 $h_b = 2.47$ m, 故有:

$$h_s = 4.30 + 2.47 = 6.77 \text{ 米}$$

最低冲刷线标高 $H_m = 63.65 - 6.77 = 56.88 \text{ (m)}$

在确定基底埋置深度时, 还应考虑基底最小深置安全值, 按〔2〕中表3.1.1确定。

例1—1—3 条件与例1—1—1相同, 河床表层为细砂, 厚度1.2m, 其下为软塑亚粘土, 土工实验指标为: 容重 $\gamma = 19.10 \text{ kN/m}^3$ 、孔隙比 $e = 0.82$ 、 $\omega_L = 34$ 、 $\omega_P = 19$ 、液性指数 $I_L = 0.6$ 厚度14米, 下伏基岩为红砂页岩。试求冲刷深度。

解: 1. 一般冲刷计算按〔1〕中第8.4.6条

1° 按(8.4.6—3)式计算按〔1〕中公式在82年已修订为下式)

$$h_P = \left[\frac{Q_P \left(\frac{h_{max}}{h} \right)^{\frac{5}{3}}}{0.23 \left(\frac{1}{I_L} \right)^{1.3}} \right]^{\frac{3}{5}} = \left[\frac{5264}{0.23 \times \left(\frac{1}{0.6} \right)^{1.3}} \times \left(\frac{5.8}{4.22} \right)^{\frac{5}{3}} \right]^{\frac{3}{5}} = 12.49 \text{ (m)}$$

2° 按(8.4.6—4)式计算

$$h_P = \left[\frac{Q_P \left(\frac{h_{max}}{h} \right)^{\frac{5}{3}}}{0.22 \left(\frac{1}{I_L \sqrt{e}} \right)^{1.15}} \right]^{\frac{3}{5}} = \left[\frac{5264}{0.22 \left(\frac{1}{0.6 \times \sqrt{0.82}} \right)^{1.15}} \times \left(\frac{5.8}{4.22} \right)^{\frac{5}{3}} \right]^{\frac{3}{5}} = 10.22 \text{ (m)}$$

2. 局部冲刷计算〔1〕中公式在82年已修订为下式)

$$\begin{aligned}
 1^\circ \quad h_P &= K_\xi b_1^{0.6} I_L^{1.25} V \\
 &= 1.0 \times 1.15^{0.6} \times 0.6^{1.25} \times 3.75 = 2.15 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

式中 V 为墩前行近流速, 一般取一般冲刷停止时的冲止流速。

$$\begin{aligned}
 2^\circ \quad h_P &= K_\xi b_1^{0.6} (I_L \cdot e)^{0.7} V \\
 &= 1.0 \times 1.15^{0.6} \times (0.6 \times 0.82)^{0.7} \times 3.75
 \end{aligned}$$

$$=2.48 \text{ (m)}$$

据以上计算, 总冲刷深度可取

$$h_s = h_p + h_b + \Delta h = 12.49 + 2.48 + 0 = 14.97 \text{ (m)}$$

例1—1—4 条件与1—1—2相同, 改变河槽地质资料为: 河槽部分河底以下3米内为粉砂 $\bar{d}=0.02\text{mm}$, $d_{95}=0.04\text{mm}$; 河底以下3米至10米为砂砾层, $\bar{d}=2\text{mm}$, $d_{95}=25\text{mm}$ 。求河槽部分一般冲刷深度。

解: 此题按图解法求解

1. 绘制 $V_z = f(h_i, d)$ 曲线, 即冲止流速与颗粒直径及冲深之间的关系曲线:

$$V_z = E d_i^{\frac{1}{6}} h_p^{\frac{2}{3}}$$

式中: $E=0.66$

$$h_p = 12.39 \sim 12.39 + 3 \text{ 时, } d_i = 0.02\text{mm}$$

$$h_p > 15.39 \text{ 时 } d_i = 2\text{mm}$$

相应的曲线为图1—2中的A线(计算结果列于表1—3)

2. 绘制冲刷深度增大时冲深与流速的关系曲线

由64—1公式可得出冲刷停止时, 断面上最大的单宽流量:

由例1—1—2已知:

$$A=1.04; L_0^*=104.47 \text{ (m)};$$

$$\mu=0.96; Q=3476 \text{ (m}^3/\text{s)};$$

$$h_{max}=12.39 \text{ (m)}; \bar{h}=9.58 \text{ (m)}$$

$$q_{max} = A \frac{Q}{\mu L_0^*} \left(\frac{h_{max}}{\bar{h}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 1.04 \times \frac{3476}{0.96 \times 104.47} \times \left(\frac{12.39}{9.58} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 42.788 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

可导出相应的垂线平均流速:

$$\bar{v} = \frac{q_{max}}{h_i} = A \frac{Q}{\mu L_0^* h_i} \left(\frac{h_{max}}{\bar{h}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

改变式中的 h_i , 便可得出 $\bar{v}_i = f(h_i)$ 关系曲线绘于图1—2上(图中B线)(计算结果列于表1—3), 在计算中, 把 q_{max} 当成不变值。

由图知, A、B线相交于 $h_p=15.39\text{m}$ 处, 故一般冲刷深度的标高为

$$H_p = 63.65 - 15.39 = 48.26 \text{ (m)}$$

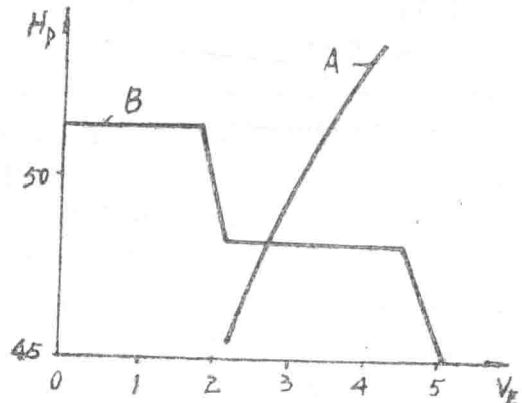


图1—2 $V_z = f(h_i, d)$ 曲线

二、冻结深度计算

当墩台基底设置在不冻胀土层中, 基底埋深可不受冻深的限制; 当墩台基础设置在季节性冻胀土层中时, 基底的最小埋置深度则应考虑冻结深度的影响。

例1—1—5 在兰洲地区修建桥梁基础, 地基土为细砂, 冻前土天然含水量 $\omega=16\%$,

表 1—3

h_i	$V_z = E d_i^{\frac{1}{6}} h_i^{\frac{2}{3}}$	$\bar{v} = \frac{q_{max}}{h_i} = \frac{42.788}{h_i}$
8.39		5.10
10.39		4.12
12.39	1.84	3.45
14.39	2.03	2.93
15.39	2.13 (4.58)	2.78
17.39	(4.97)	2.46
19.39	(5.53)	2.20

地下水位于地面以下 3 米。求墩台基础修建在季节性冻土层中基底的最小埋置深度。

解：据《公路桥梁地基与基础设计规范》(JTJ024—85)〔2〕第 3.1.1 条，查图 3.3.1—2，得兰洲地区标准冻结深度为 $z_0^* = 100\text{cm}$ ；

标准冻深修正系数 $m_t = 1.15$ ；

从〔2〕中附表 1.14 中查得：细砂 $14 < \omega \leq 19$ ，地下水位低于冻结线距离 $3 - 1.0 = 2\text{m} > 1.5\text{m}$ ，故可定为弱冻胀土，故容许残留冻土厚度：

$$h_d = 0.24z_0^* + 0.31 = 0.55 \text{ (m)}$$

基底最小埋置深度为：

$$h = z_0^* m_t - h_d = 1.15 \times 1.0 - 0.55 = 0.6 \text{ (m)}$$

如果桥梁上部建筑为超静定结构，则最小基础埋置深度为：

$$h = z_0^* + 0.25 = 1.0 + 0.25 = 1.25 \text{ (m)}$$

例 1—1—6 东北海拉尔地区，根据收集到的气象资料，低于 0°C 以下月平均气温（取 20 年平均值）为： -6°C 、 -15.2°C 、 -24.4°C 、 -41.3°C 、 -34.6°C 、 -25.1°C 、 -8.5°C 。修建桥梁基础地基土为粘性土，天然含水量 $\omega = 18$ ， $\omega_p = 12$ ，地下水距地表 4 米，试求基底的最小埋置深度。

解：据〔2〕中第 3.1.1 条，根据气象资料按规范给出的公式估算标准冻深：

$$\begin{aligned} z_0^* &= 0.28\sqrt{\sum T + 7} - 0.5 \\ &= 0.28 \times \sqrt{6 + 15.2 + 24.4 + 41.3 + 34.6 + 25.1 + 8.5 + 7} - 0.5 \\ &= 0.28 \times 12.73 - 0.5 = 3.06 \text{ (m)} \end{aligned}$$

取 $z_0^* = 3 \text{ (m)}$

据〔2〕中附表 1.14，知

$$\omega_p + 5 < \omega < \omega_p + 9$$

即： $17 < 18 < 21$

地下水位 $0.5 < h_w = 4 - 3 < 2$

可判定地基土为强冻胀土，基底最小埋置深度：

$$h = z_0^* m_t - h_d = 1.15 \times 3 - 0 = 3.45 \text{ (m)}$$

如桥梁上部结构为超静定结构，则最小埋置深度为：

$$h = z_0^* + 0.25 = 3 + 0.25 = 3.25 \text{ (m)}$$

小于上述计算值，宜取大值， $h=3.45\text{ (m)}$

第二节 荷载计算

地基基础验算前，应根据可能同时出现的作用荷载，按照规范有关规定（《公路桥涵设计通用规范》〔3〕（JTJ021—85）进行各种荷载组合。为便于计算，应将每一种组合的作用荷载转换为图 1—3 所示的等效标准力系。对某项验算产生最大力学效应，例如应力验算时产生最大应力的荷载组合称为“最不利荷载组合”，该项验算以此组合为准。

例1—2—1 某桥上部构造采用装配式钢筋混凝土T型梁。标准跨径20.00米，计算跨径 $L_P=19.50\text{ m}$ 。摆动支座，桥面宽度为净7+2×0.75m，设计荷载为汽车—20，挂车—100，人群荷载为 3.5 kN/m^2 。

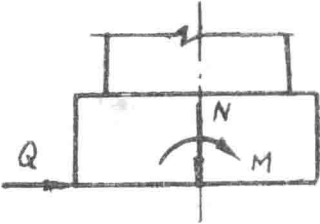


图 1—3 等效标准力系

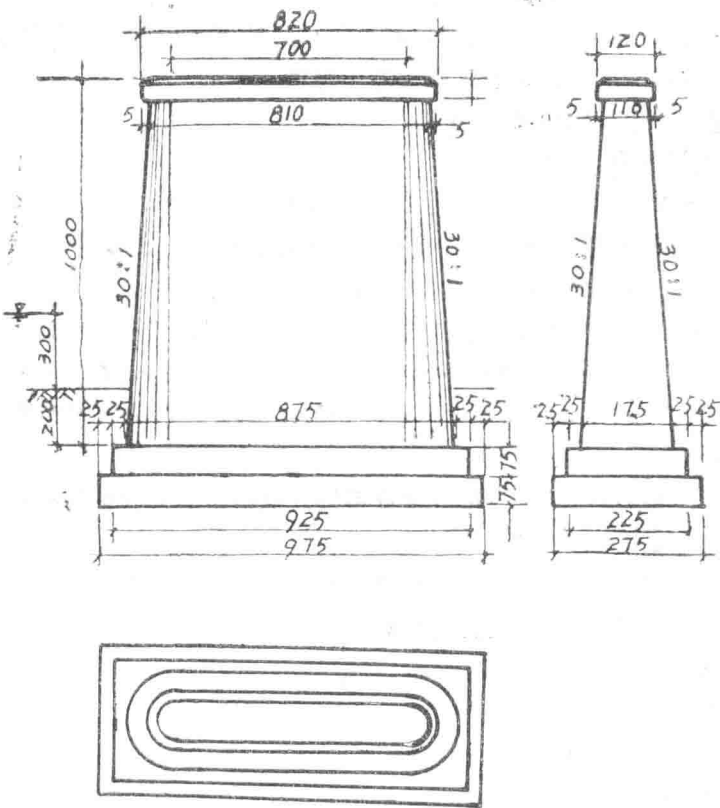


图 1—4 桥墩尺寸图

初步拟定1*桥墩尺寸如图 1—4 所示。墩帽为20号钢筋混凝土 $r_1=25\text{KN/m}^3$ ，墩身为7.5号浆砌片石、块石， $r_2=22\text{KN/m}^3$ ，基础为15号混凝土， $r_3=23\text{KN/m}^3$ 。

设计水位距墩顶面 5 m，常水位距墩顶面 7 m。

计算各组合的等效标准力系。

解：（一）荷载计算

1.恒载计算

a.上部构造恒载：由有关定型设计可查出（或可以按此估列）

上部构造恒载作用于支座上的反力

$$P_{\text{上}}=925\text{ (KN)}$$

b.桥墩恒载计算（表 1—4）

表 1—4

部 位	算 式	体 积 (m^3)	容 重 (KN/m^3)	重 量 (KN)
墩 帽	$(7\times 1.2+\frac{1}{4}\times 3.14\times 1.2^2)\times 0.3$	2.86	25	71.5
墩 身	$F_1=7\times 1.1+\frac{1}{4}\times 3.14\times 1.1^2=8.65$			
	$F_2=7\times 1.75+\frac{1}{4}\times 3.14\times 1.75^2=14.65$			
	$V=\frac{1}{3}(8.65+\sqrt{8.65\times 14.65}+14.65)\times (10-0.3)$	111.73	22	2458.16
上层基础	$9.25\times 2.25\times 1.0$	20.81	23	478.63
下层基础	$9.75\times 2.75\times 1.0$	26.81	23	616.69
下层基础 边上的土	$(9.75+2.25)\times 2\times 0.25\times 3.0$	18	17	306
上层基础 边上的土	$(9.25+1.75)\times 2\times 0.25\times 2.0$	11	17	187
总 重 ($P_{\text{下}}$)				4117.98

2.车辆荷载计算

1) 相邻两孔均有一行汽车

(图 1—5)

由图 1—5 布载形式得：

$$R_{x1}=[60\times 14.1+120\times (14.1+4)+120\times (14.1+4+1.4)]\times \frac{1}{19.5}=274.77\text{ (KN)}$$

$$R_{x2}=[130\times 6+70\times (6+4)]\times \frac{1}{19.5}=75.90\text{ (KN)}$$

说明：如荷载布置换成图 1—5a所示

此时有：

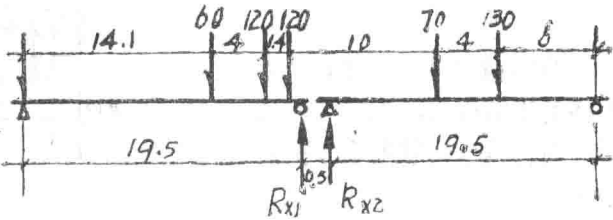


图 1—5

$$R'_{x1} = (60 \times 14.6 + 120 \times 18.6) \times \frac{1}{19.5} = 159.38 \text{ (KN)}$$

$$R'_{x2} = (130 \times 5.5 + 70 \times 9.5 +$$

$$120 \times 19.5) \times \frac{1}{19.5}$$

$$= 190.77 \text{ (KN)}$$

$$R'_{x1} + R'_{x2} = 190.77 + 159.38$$

$$= 350.15 \text{ (KN)}$$

$$M = (190.77 - 159.38) \times 0.25$$

$$= 7.85 \text{ (KN} \cdot \text{m)}$$

较图 1—5 布置时相应的:

$$R_{x1} + R_{x2} = 274.77 + 75.90 =$$

350.67 很接近, 但产生的弯矩:

$$M = (274.77 - 75.90) \times 0.25$$

= 49.72 相差较大。故计算中应该选用图 1—5 布置的情况。

2) 一孔上有一行汽车 (图 1—6)

由图 1—6 布载形式得:

$$R_{x3} = (130 \times 0.1 + 70 \times 4.1 +$$

$$120 \times 14.1 + 120 \times 15.5 + 60 \times$$

$$19.5) + \frac{1}{19.5} = 257.54 \text{ (KN)}$$

说明: 如荷载布置换成图 1—6a 的形式有:

$$R'_{x3} = (60 \times 0.1 + 120 \times 4.1 +$$

$$120 \times 5.5 + 70 \times 15.5 + 130 \times 19.5)$$

$$\times \frac{1}{19.5} = 245.03 \text{ (KN)}$$

显然应采用图 1—6 的布载形式。

3) 汽车横向排列 (图 1—7)

在桥的横截面上, 汽车靠一边行驶时, 两行汽车荷载的合力偏离桥梁中线:

$$3.5 - (0.5 + \frac{1.8}{2} + \frac{1.8 + 1.3}{2}) = 3.5 - 2.95 = 0.55 \text{ (m)}$$

$$\text{一行荷载的合偏离桥梁中线: } 3.5 - (0.5 + \frac{1.8}{2}) = 2.1 \text{ m}$$

3. 人群荷载的计算 (图 1—7)

每一孔每边人行道上的人群荷载对桥墩支点的反力为:

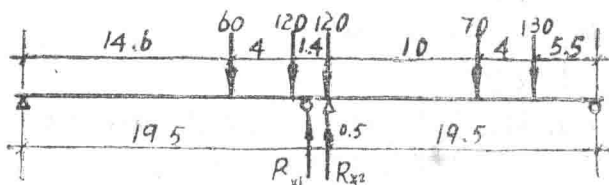


图 1—5a

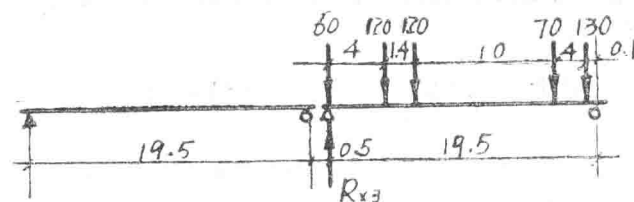


图 1—6

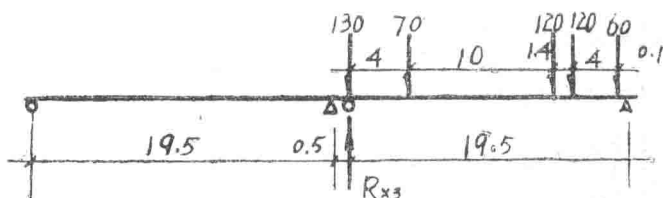


图 1—6a

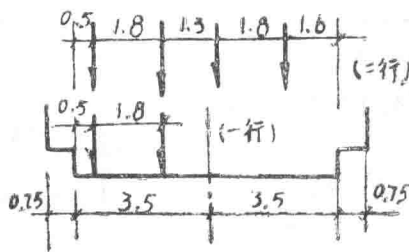


图 1—7

$$R_A = 0.75 \times 20 \times 3.5 \times \frac{1}{2} = 26.25 \text{ (KN)}$$

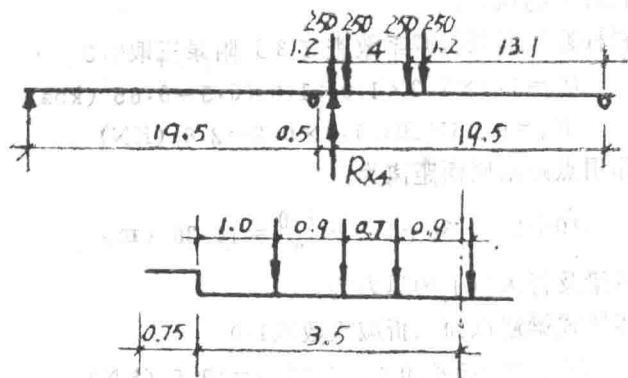
一边人行道上的荷载合力偏离桥梁中线

$$\frac{0.75}{2} + 3.5 = 3.875 \text{ (m)}$$

4. 挂车荷载计算 (图 1—8)

全桥只允许通行一辆

$$\begin{aligned} R_{x4} &= [250 \times 13.1 + 250 \\ &\times (13.1 + 1.2) + 250 \times (13.1 \\ &+ 1.2 + 4) + 250 \times 19.5] \\ &\times \frac{1}{19.5} = 835.90 \text{ (KN)} \end{aligned}$$



靠一边行驶时, 荷载合力偏离
桥梁中线

$$\begin{aligned} 3.5 - 1.0 - 0.9 - \frac{0.9}{2} \\ = 1.15 \text{ (m)} \end{aligned}$$

图 1—8

5. 风力

1) 横向风力

1° 桥墩

基本风压值查〔3〕附录三采用 $W_0 = 0.5 \text{ kpa}$;

常水位水深 1 m, 墩顶在常水位以上 7 米;

设计风速频率换算系数取 $K_1 = 1.0$;

风载体型系数查〔3〕表 2.3.8—1, $K_2 = 0.3$;

风压高度变化系数查〔3〕表 2.3.8—2, $K_3 = 1.0$;

地形地理条件系数查〔3〕表 2.3.8—3, $K_4 = 1.0$ 。

横向风压为:

$$\begin{aligned} W &= K_1 K_2 K_3 K_4 W_0 \\ &= 1.0 \times 0.3 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.5 = 0.15 \text{ (kpa)} \end{aligned}$$

作用在墩帽上的风力:

$$W_1 = 1.2 \times 0.3 \times 0.15 = 0.054 \text{ (KN)}$$

作用点距基底面的距离为:

$$12 - 0.15 = 11.85 \text{ (m)}$$

作用在墩身上的风力:

$$\begin{aligned} W_2 &= [1.1 + (10 - 3 - 0.3) \times \frac{1}{30} \times 2 + 1.1] \times \frac{1}{2} \times (10 - 3 - 0.3) \times 0.15 \\ &= 1.33 \text{ (KN)} \end{aligned}$$

作用点距基底面的距离为:

$$\frac{1.55 \times 2 \times 1.1}{3 \times (1.55 + 1.1)} \times 6.7 + 5 = 8.16 \text{ (m)}$$