

润扬大桥悬索桥北锚碇基础接触应力仿真分析

邵国建, 苏静波, 胡 强

(河海大学工程力学系, 南京 210098)

[摘要] 针对润扬大桥悬索桥北锚碇基础的浇筑施工、运行过程, 基于大型有限元分析软件 Marc 进行二次开发, 建立了锚碇基础和土体共同作用的三维有限元仿真计算模型。考虑锚碇基础浇筑过程中地下水位改变引起基底水压力的变化对锚碇基础接触应力分布的影响, 对锚碇体浇筑到运行的全过程进行了仿真数值计算, 揭示了岩层地基上悬索桥重力式嵌岩锚碇基础接触应力在施工到运行过程中的变化规律。工程实例数值计算结果表明, 在不同施工浇筑阶段, 尽管锚碇基础不同部位的接触应力呈现出不同的变化特征, 北锚碇基础在施工到运行全过程中基础接触应力总体满足设计要求。

[关键词] 悬索桥; 锚碇基础; 接触应力; 仿真分析

[中图分类号] TV698.1; TV547.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)06-0028-07

1 引言

润扬公路大桥南汊悬索桥采用跨径1 490 m 的单跨双铰钢箱梁的方案, 是国内目前跨径最大的桥梁, 位居世界第三。北锚碇基础位于长江世亚洲尾部, 承受主缆拉力为 6.8×10^5 MN。基坑采用的是 $69 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 的矩形, 开挖深度约 48 m, 经过多阶段多方案的反复论证比较, 最终确定采用矩形地下连续墙基础方案^[1]。锚碇作为悬索桥主要的承力结构物, 主缆锚固系统采用预应力锚固系统, 主缆索股经散索鞍散开后, 由钢制锚杆连接到锚体内的预应力钢索上。锚碇体的受力机制体现为作用在悬索桥的主缆上巨大的拉力通过索股与锚碇架分散传到锚块上, 再由锚块、基础通过摩阻力传递到地基上, 以地基的反力来抵抗锚块、基础与索股拉压力在竖直方向的分量, 而索股在水平方向的巨大拉力则由锚块基础与地基的摩阻力抵抗^[2-4]。

对于以承受水平荷载为主的重力式锚碇结构, 其基底应力大小以及分布规律的确定对稳定性分析是十分重要的。由于北锚碇基础底部基岩的风化特

征主要受岩性及构造影响程度控制, 风化差异明显, 强、弱风化带厚度变化较大, 且基岩受多次构造运动影响, 发育了一条近南北向的主构造破碎带 F5, 锚碇承受的水平力和上拔力均巨大而集中, 并且受力过程复杂而多变。根据北锚碇设计要求, 在地基岩体承载力设计允许值的范围内, 施工与运行期间锚碇基础基底的有效应力值越大, 锚碇安全性越高; 前墙水平向应力越小, 越有利于大桥的安全。为了分析北锚碇基础基底压力与基岩抗力的大小和分布规律, 对锚碇体浇筑到运行的全过程进行了仿真数值计算, 以便了解锚碇体在施工期与运行期的受力情况, 为对北锚碇的合理评价提供依据。

2 工程概况及计算模型

2.1 工程概况

北锚碇区域自然环境条件复杂, 由第四系覆盖层和基岩地质层组成, 覆盖层厚度约 45.7 ~ 48.5 m, 自上而下为亚粘土、淤泥质亚粘土、淤泥质亚粘土与粉砂互层、中细砂 - 中粗砂, 基岩为花岗岩。平均深度 16 m 以上浅透水性较差, 16 m 以下

深至 48m 左右为第四系微承压含水层，第四层地层与长江水联系密切，基岩裂隙水与长江水和第四系承压水有一定的水力联系。基岩顶板标高 -42.7 ~ -45.08，具西高东低之势，东半部相对较平坦。

基岩自弱风化带向下至 62 m 段为主要含水层段，厚度约为 14 m；整体基岩含水层埋深自 48 m 至 80 m，厚度为 32 m。土层物理力学性质指标采用该工程的试验资料结果见表 1。

表 1 土层物理力学性质指标

Table 1 Physicomechanical parameters of soil

材料	变形模量 /kPa	泊松比	天然容重 /kN·m ⁻³	Duncan - Chang 参数							
				C/kPa	φ/°	R _f	k	n	G	F	D
亚粘土夹粉砂			18.9	8.5	33.0	0.75	117.5	0.57	0.20	0.10	3.87
淤泥质亚粘土			18.1	35.0	29.0	0.85	60.0	0.58	0.13	0.09	4.98
淤泥质亚粘土与粉砂互层			18.2	18.0	33.0	0.70	92.6	0.62	0.16	0.12	5.75
粉细砂			18.1	1.0	36.0	0.54	165.5	0.79	0.22	0.08	6.50
亚粘土			19.1	25.0	31.0	0.74	87.4	0.67	0.18	0.09	4.04
上部粉细砂下部砾砂			18.2	7.0	39.0	0.87	195.7	0.73	0.20	0.08	5.86
含砾中砂 - 砾砂			18.0	2.5	41.0	0.86	233.3	0.70	0.23	0.09	3.97
强风化岩	3.05 × 10 ⁶	0.241	23.6	3 400	42.8						
弱风化岩	1.64 × 10 ⁷	0.236	25.0	7 200	48.9						
微风化岩	5.86 × 10 ⁷	0.192	26.4	11 000	53.5						
混凝土	2.40 × 10 ⁷	0.167	25.0								

根据场区地质水文条件，锚碇基础设计为矩形地连墙，其厚度为 1.2 m，地连墙墙体共划分为 42 个槽段，墙体下采用基岩段帷幕注浆的方法减少基坑坑底的渗流量，各槽段地下连续墙底高程随基岩分布及风化程度而不同，地连墙平均深度 53 m，最大深度 56 m，平均嵌岩深度 4 m。北锚基础底板面高程 -41.5 m，顶板高程 +3.0 m，顶底板厚度均为 5.0 m，在基坑开挖及基础底板浇筑完工后，基坑内设置三道纵隔板、四道横隔板将基础分隔为 20 个隔仓，除其中 2 个隔仓填混凝土外，其余 18 个隔仓均填砂，目的是调节基础重心，节省混凝土工程量，待锚碇基础浇筑完工后再浇筑上锚体。北锚碇基础平面布置见图 1，立面布置见图 2。

2.2 计算模型和材料模型

计算域范围竖向坑底以下深度再向下取基坑深度的 2 倍，取至坑底下坚硬岩层；坑外水平方向分别向基坑外伸再取对应基坑长边或短边长度的 2 倍。计算模型模拟了锚体 - 基础 - 土体的共同作用，挡土墙和土体以及基岩大多采用三维六面体 8 结点等参元，少量采用五面体 6 结点三棱柱单元，挡墙与土骨架之间设接触面单元模拟二者之间的相互作用。整体计算模型经离散后，单元总数为 57 002，结点总数为 58 626，基本模拟了基坑结构特征、岩（土）体结构、主要断层及接触面情况，

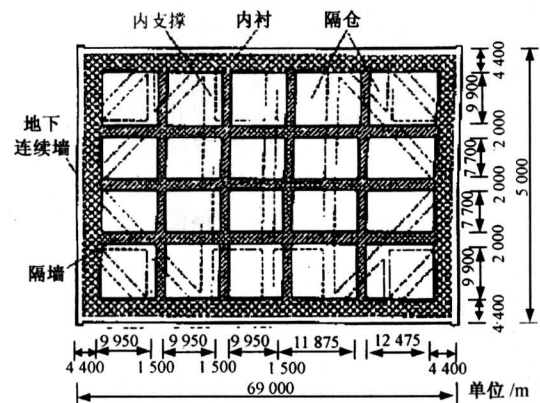


图 1 北锚碇基础平面布置

Fig.1 Plane form of north anchorage foundation

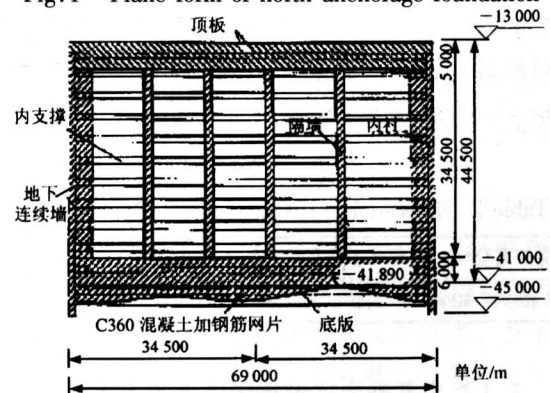


图 2 北锚碇基础立面布置

Fig.2 Vertical form of north anchorage foundation

同时模拟了地连墙和锚体结构等。计算中采用的直角坐标系为： x 轴平行于基坑长边指向镇江， y 轴平行于基坑短边， z 轴垂直向上。三维整体计算网格见图3，锚碇体网格见图4。

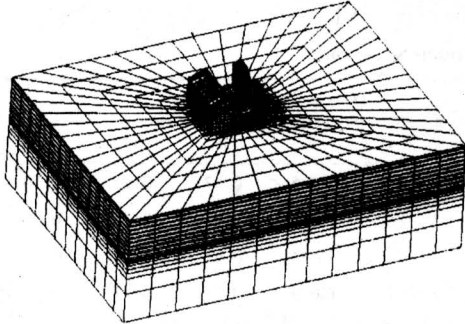


图3 三维整体计算网格

Fig.3 3D entire computation mesh

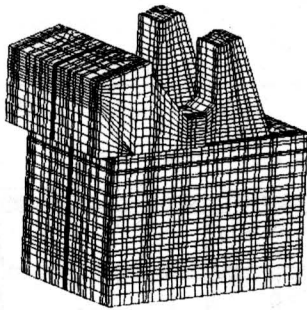


图4 锚碇体网格图

Fig.4 Mesh of anchorage foundation

土体和全风化岩体假定为 Duncan - Chang 非线性弹性模型；强风化层岩体、弱风化层岩体、微风化层岩体和新鲜岩体采用理想弹塑性模型，岩体屈服准则采用 Drucker - Prager 准则，塑性流动采用相关联的流动法则；地下连续墙、锚碇体采用脆弹性材料模型。假定接触面无拉应力，剪切破坏服从 Mohr - Coulomb 屈服准则。

3 计算过程和计算成果分析

3.1 计算过程

采用了近年来国内外通用的大型有限元软件 Marc，经二次开发后，考虑锚体 - 基础 - 土体的共同作用，计入基础周围土体及基底地下水压力对锚碇体结构位移和应力分布的影响，对北锚碇体浇筑到运行的全过程进行了仿真数值计算。

首先锚碇基础部分浇筑按实际施工过程分 11 级进行仿真计算，计算得到北锚基础在各级浇筑高程下基底反力分布规律和大小，同时给出在基础浇筑过程中北锚地连墙在基坑底部断面位置的法向反力增量变化规律。

其次，主要针对上部锚体浇筑过程中（后锚块、预应力及大缆拉力未架设时），仅在上部锚体结构自重作用下，计算分析基坑基础基底反力的变化情况以及北锚碇地连墙应力变化情况。

最后，针对施加锚固预应力、浇筑后锚块及大缆架设完成后，在后锚块结构自重、锚固预应力施加及大缆拉力共同作用下，即在成桥满载情况下，计算分析北锚碇体基础基底反力的变化情况以及北锚碇地连墙应力变化情况。

3.2 计算成果分析

3.2.1 北锚碇基础浇筑施工分级模拟计算 为了全面反映基坑基础浇筑过程中基底反力大小和分布规律，在基础按 11 级仿真模拟浇筑过程进行仿真计算时，需考虑地下水位改变引起基底水压力变化对基础结构受力的影响。为此，根据北锚碇基础在浇筑过程中的实测基底水压力资料，在计算具体仿真基础浇筑过程时，地下水位的变化可通过对基础底板施加水压力来实施，得到基坑基础在各种浇筑高程下的基底反力分布和大小，同时给出地下连续墙在基坑底部截面位置的应力增量值。北锚基坑基底水压力随浇筑高程变化的实测值见表 2。

表 2 北锚基坑基底水压力随浇筑高程变化的实测值

Table 2 Measurement results of water pressure under north anchorage foundation along with the change of height

浇筑高程/m	-41.5	-37.7	-34.8	-30.8	-26.8	-22.8	-18.8	-14.8	-10.8	-6.80	-2.80	+1.50
基底水压/MPa	0.0	0.01	0.02	0.04	0.12	0.20	0.28	0.32	0.36	0.40	0.42	0.42

表 3 给出基础浇筑过程中考虑地下水位的回复和基底水压力作用的坑内基底反力大小以及占浇筑总质量的百分比，总百分比指坑内基底反力和地连

墙承担的反力之和占浇筑块重量的比值。

在考虑地下水位变化下，基础各级浇筑过程中坑内基底法向正应力的最大和最小值及发生位置如

表 4 所示；基础浇筑完工后坑内基底法向正应力分布立体图见图 5。

表 3 考虑地下水位变化在基础各级浇筑下的基底反力数值

Table 3 The counterforce results under foundation considering the change of water level along with casting

浇筑级数	浇筑顶高程 /m	浇筑高度 /m	浇筑总质量 /t	坑内基底反力		地连墙反力 百分比/%	总百分比 /%
				基底反力/t	百分比/%		
第 1 级	▽ - 36.5	8.50	68 712.1	55 018.4	80.07	11.50	91.57
第 2 级	▽ - 33.8	2.70	86 694.7	66 939.3	77.21	11.61	88.82
第 3 级	▽ - 29.8	4.00	113 335.7	82 828.7	73.08	11.79	84.87
第 4 级	▽ - 25.8	4.00	139 976.7	82 540.8	58.97	10.34	69.31
第 5 级	▽ - 22.10	3.70	164 619.6	80 557.5	48.94	9.33	58.27
第 6 级	▽ - 18.10	4.00	191 260.0	80 032.9	41.84%	8.70	50.54
第 7 级	▽ - 14.10	4.00	217 901.5	89 923.8	41.27%	9.02	50.29
第 8 级	▽ - 10.30	3.80	243 210.5	100 716.2	41.41%	8.73	50.14
第 9 级	▽ - 6.30	4.00	269 851.4	112 240.3	41.59%	8.60	50.19
第 10 级	▽ - 2.00	4.30	298 490.5	130 632.9	43.76%	8.82	52.58
第 11 级	▽ + 1.50	3.50	326 783.8	153 864.9	47.08%	9.31	56.39

表 4 考虑地下水位变化时基础浇筑过程底板法向正应力的最大最小值

Table 4 The maximal and minimal soleplate normal stress considering the change of water level along with casting 10^{-2} MPa

基础浇筑顶高程/m	最大压应力值			最小压应力值		
	x 坐标	y 坐标	基底法向	x 坐标	y 坐标	基底法向
	/m	/m	正应力	/m	/m	正应力
▽ - 36.5	1.20	39.74	37.70	58.00	5.88	6.33
▽ - 33.8	1.20	39.74	48.67	58.00	5.88	8.36
▽ - 29.8	1.20	46.80	64.78	58.00	5.88	11.25
▽ - 25.8	1.20	46.80	73.27	58.00	5.88	14.10
▽ - 22.10	1.20	46.80	80.93	58.00	5.88	16.74
▽ - 18.10	1.20	46.80	91.07	58.00	5.88	19.60
▽ - 14.10	1.20	46.80	109.48	58.00	5.88	22.49
▽ - 10.30	1.20	46.80	119.99	58.00	5.88	25.41
▽ - 6.30	1.20	46.80	132.77	58.00	5.88	28.45
▽ - 2.00	1.20	46.80	151.10	58.00	5.88	31.73
▽ + 1.50	1.20	46.80	172.27	58.00	5.88	34.93

从表 3 和表 4 中可看出：

1) 基础浇筑前期 (第 1 ~ 第 6 级, 浇筑顶高程 - 18.10 m), 基坑基础基底反力占浇筑总质量的百分比均随浇筑高程的增加而有所减少。归其原因, 由于在基础浇筑前期, 地下水位的回复引起基底水压力增幅较大所致。

2) 随着浇筑高度的增加 (第 7 ~ 第 11 级, 浇

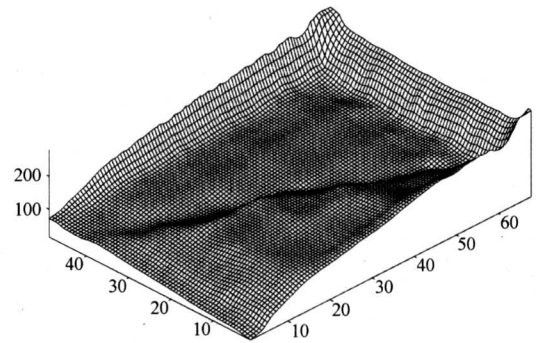


图 5 考虑地下水位变化基础浇筑完工后坑内基底法向正应力立体图 (单位: 10^{-2} MPa)

Fig.5 3D chart of normal stress under foundation considering the change of water level after the completion of casting

筑顶高程 + 1.50 m), 因地下水位的回复引起基底水压力增幅趋缓, 此外基坑基础的垂向刚度也进一步提高, 基底反力占浇筑总质量的百分比又随浇筑高程的增加而略有增大。

3) 在基础浇筑过程中, 考虑地下水位的变化及基底水压力改变时, 在第 4 到第 6 级 (浇筑顶高程从 - 29.80 m ~ - 18.10 m) 浇筑过程的结果中, 基础基底反力值随浇筑高度增加反而减少。从表 2 中地下水位变化下基底水压力实测值可看出, 在此段浇筑期间基底水压力增加较其他基础浇筑阶段明显大得多, 并且在此阶段基底水压力的增加值反而大于浇筑块质量的增量值, 使得在第 4 到第 6 级浇

筑阶段中基底反力值随浇筑高度增加略有减少的现象发生。

4) 在基础浇筑过程中, 考虑基础和地连墙的整体空间效应, 地连墙承担基础浇筑块质量占一定的比例。基础浇筑完工后, 在考虑地下水位改变时, 坑内基底反力占浇筑块质量的 47.08%, 而地连墙承担基础浇筑块质量的占 9.31%。

从图 5 可看出:

1) 在基础浇筑过程中, 基底反力总体符合规律。随着基础浇筑高程的增加, 坑内基底反力和地连墙基底处横截面正应力均在增大。基坑基底反力与基岩的岩性关系明显, 断层带强风化基岩处基底反力较小, 微风化和弱风化基岩处反力相对较大。

2) 基础浇筑完工后, 在考虑地下水位变化时, 坑内基底反力最大值为 1.72 MPa, 坑内基底反力最小值为 0.349 MPa, 基底最大反力发生在靠地连墙的微风化基岩处, 基底最小反力均发生在断层带强风化基岩处。地连墙基底处法向正应力最大值为 1.55 MPa, 发生在地连墙长边中部处 ($x = 35.5$ m, $y = 50.0$ m), 地连墙基底处法向正应力最小值为 0.625 MPa, 发生在地连墙 ($x = 24.0$ m, $y = 0.0$ m) 处。

3.2.2 北锚碇上部锚体浇筑施工模拟计算 上部锚体浇筑后 (后锚块、预应力及大缆拉力未架设时), 考虑基础浇筑和上锚体浇筑自重共同作用下, 基础坑内基底法向全量正应力分布立体图见图 6。

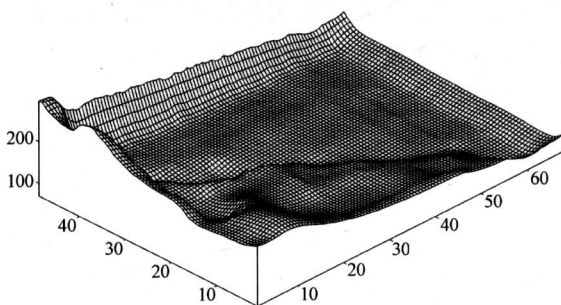


图 6 北锚基础基底法向反力全量立体图 (上锚体浇筑完工后) (单位: 10^{-2} MPa)

Fig.6 3D chart of normal total counterforce under foundation (after the completion of casting the

从图 6 可看出:

1) 上部锚体浇筑 (后锚块、预应力及大缆拉力未架设时) 在自重作用下, 因上锚体中心与基础中心位置不一致, 总体分布规律表现为靠后墙基底

法向增量反力大于靠前墙基底法向增量反力。基础基底法向增量反力除靠前墙底部个别点外, 均为压应力, 最大法向增量压应力值为 1.88 MPa, 发生在基础基底靠后墙角点处; 在基础底部靠前墙局部点发生法向增量拉应力值为 0.02 MPa。

2) 上部锚体浇筑后 (后锚块、预应力及大缆拉力未架设时), 基础基底法向全量反力均为压应力, 总体分布规律仍表现为靠后墙基底法向全量反力大于靠前墙基底法向全量反力, 最大法向全量压应力值为 2.69 MPa, 发生在基础基底靠后墙区域; 最小法向全量压应力值为 0.69 MPa, 发生在基础基底靠前墙与断层附近区域。

3) 地连墙在基础底部水平横断面上的增量第一主应力的变化范围为 -0.25 MPa (压) ~ 0.14 MPa (拉), 最大增量主拉应力发生在前墙角部区域; 该断面上的增量第三主应力的变化范围为 -2.43 MPa (压) ~ 0.0 MPa (拉), 最大增量主压应力发生在后墙角部区域。该断面上的全量第一主应力的变化范围为 -0.47 MPa (压) ~ 0.07 MPa (拉), 最大全量主拉应力发生在前墙角部局部区域; 该断面上的全量第三主应力的变化范围为 -3.84 MPa (压) ~ -1.12 MPa (压), 最大全量主压应力发生在后墙角部区域。

3.2.3 北锚碇成桥满载时计算 上部锚体浇筑完成后, 成桥满载 (含基础浇筑、上锚体浇筑、锚固预应力及大缆拉力共同作用) 下, 基础坑内基底法向全量正应力分布立体图见图 7。

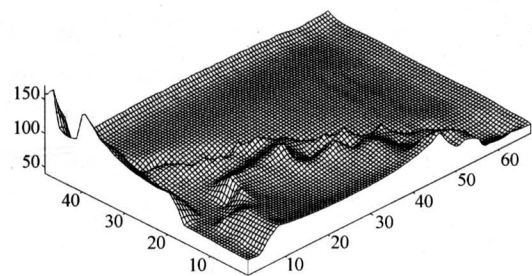


图 7 北锚基础基底法向反力全量立体图 (成桥满载下) (单位: 10^{-2} MPa)

Fig.7 3D chart of normal total counterforce under foundation (under all loads after the completion of the bridge)

从图 7 可看出:

1) 在后锚块自重、锚固预应力及大缆拉力作用下, 受锚块前锚面上索股的拉力和散索鞍支墩顶面的压力作用, 基坑基底反力总体分布规律表现为

靠前墙基底法向增量反力表现压,靠后墙基底法向增量反力表现为拉,锚体存在以中前侧基底为支点的向前倾覆转动的趋势和应力变化过程。靠前墙基底最大法向增量压应力值为 2.07 MPa,发生在基础基底靠前墙角点处;在基础底部靠后墙发生法向增量拉应力值为 2.58 MPa。

2) 成桥满载(含基础浇筑、上锚体浇筑、锚固预应力及大缆拉力共同作用)下,基础基底法向全量反力均为压应力,总体分布规律仍表现为靠前墙基底法向全量反力大于靠后墙基底法向全量反力,最大法向全量反力值为 2.76 MPa,发生在基础基底靠前墙角部区域;最小法向全量反力值为 0.16 MPa,发生在基础基底靠后墙角左下局处局部区域。

3) 地连墙在基础底部水平横断面上的增量第一主应力的变化范围为 -0.45 MPa (压) \sim 3.69 MPa (拉),最大增量主拉应力发生在后墙靠墙角局部区域;该断面上的增量第三主应力的变化范围为 -4.90 MPa (压) \sim 0.37 MPa (拉),最大增量主压应力发生在前墙墙角。该断面上的全量第一主应力的变化范围为 -0.64 MPa (压) \sim 0.48 MPa (拉),最大全量主拉应力发生在后墙墙角局部区域;该断面上的全量第三主应力的变化范围为 -7.01 MPa (压) \sim -0.46 MPa (压),最大增量主压应力发生在前墙墙角。

3.3 与实测结果比较分析

为观测锚碇基础的受力情况,在锚碇基础下埋设土压力计 15 点,每点布置 2 个土压力计。同时在锚碇基础下埋设孔隙水压力计 9 点,观测锚碇基础下孔隙水压力分布,为进行锚碇基础稳定分析提供依据。

在锚碇基础浇筑过程中(上锚体未浇筑),基础底部的实测最大值压应力值为 1.50 MPa(数值仿真计算值为 1.72 MPa);成桥满载(含基础浇筑、上锚体浇筑、锚固预应力及大缆拉力共同作用)下,基础底部的实测最大值压应力值为 2.70 MPa(数值仿真计算值为 2.76 MPa)。北锚碇基础在施工到运行全过程中锚碇基础基底法向反力的数值仿真计算结果与实测值比较吻合,表明文中建立的计算模型和采用的计算方法是合理的。

4 结论

1) 在北锚碇基础浇筑过程中,基坑基底反力

与基岩的岩性好坏关系明显,断层带强风化基岩处基底反力较小,而微风化和弱风化基岩处反力相对较大。基础浇筑完工后,基底最大反力发生在靠地连墙的微风化基岩处,基底最小反力发生在断层带强风化基岩处。

2) 在上部锚体浇筑期间,基础基底法向反力均为压应力,总体分布规律仍表现为靠后墙基底法向全量反力大于靠前墙基底法向全量反力,最大法向全量压应力发生在基础基底靠后墙区域;最小法向全量压应力发生在基础基底靠前墙与断层附近区域。锚碇基底反力基本上以垂向自重应力为主,但锚体存在以后侧基底为支点的想向后倾覆转动的趋势和应力变化过程,表现为后侧基底反力有所上升,前侧基底反力有所降低。

3) 成桥满载下,基础基底法向全量反力均为压应力,总体分布规律仍表现为靠前墙基底法向全量反力大于靠后墙基底法向全量反力,最大法向全量反力发生在基础基底靠前墙角部区域;最小法向全量反力发生在基础基底靠后墙角左下局处局部区域。在上部锚体浇筑期间,北锚碇基底反力基本上以垂向自重应力为主。在主缆架设期间表现为前侧基底反力上升,后侧基底反力降低,锚体存在以前侧基底为支点的想向前倾覆转动的趋势和应力变化过程。

4) 在北锚碇基础浇筑过程与成桥满载下,锚碇基础基底法向反力的计算值与实测值吻合较好,表明文中的计算模型和计算方法是合理可靠的。

从数值计算和实测结果来看,北锚碇基础在施工浇筑到成桥满载全过程下基础接触应力总体满足该工程的设计要求。

参考文献

- [1] 吴胜东,吉林,阮静.润扬大桥悬索桥北锚碇基础方案比选[J].桥梁建设,2003,(2):44~46
- [2] 彭德运.大跨悬索桥锚碇基础的设计与施工[J].铁道标准设计,2003,(1):19~23
- [3] 张杰,钱冬生.大跨悬索桥塔和锚碇的合理设计[J].桥梁建设,2000,(4):20~22
- [4] 钱冬生,陈仁福.大跨悬索桥的设计与施工[M].西安:西南交通大学出版社,1999
- [5] 陈志坚,游庆仲,等.振弦式压力盒在刚性接触面应力监测中的应用研究[J].中国工程科学,2002,4(12):80~85
- [6] 冯兆祥,吉林,钟建弛.江阴大桥锚碇基础接触应力的实测研究[J].公路,2003,(2):23~25

Numerical Simulation of Contact Stresses under North Anchor Foundation of Runyang Suspension Bridge

Shao Guojian, Su Jingbo, Hu Qiang

(*Department of Engineering Mechanics, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

[Abstract] For the concreting construction and running process of north anchor foundation of Runyang suspension bridge, the three - dimension finite element simulation model considering the interaction of anchor foundation and soil is founded based on the secondary development of Marc. During the construction process, the change of groundwater level results in the change of the water pressure under foundation, and then the change of the distribution of contact stresses. By the numerical simulation from the construction to running process, the change law of the contact stresses of gravitational rock - socketed anchor foundation is opened out. By the computation for the engineering example, during different stages of concreting construction, though the contact stresses of different parts of anchor foundation take on different characters, the contact stresses of north anchor foundation from the concreting process to running process satisfy the request of design as a whole.

[Key words] suspension bridge; anchor foundation; contact stresses; numerical simulation

《中国工程科学》2006 年第 8 卷第 7 期要目预告

- | | | | |
|------------------------|------|---------------------------|------|
| 针刀医学体系概论 | 朱汉章 | 系统中的应用 | 张宏伟等 |
| 欧洲食品安全科技体系特点及其启示 | | 井下裂缝连通技术在安棚碱矿的应用 | |
| | 潘家荣等 | | 齐铁新等 |
| 论混凝土坝的几个重要问题 | 朱伯芳 | 基于遗传算法的工程项目投资综合优 | |
| 智能预报模式与水文中长期智能预报 | | 化探讨 | 陈耀明等 |
| 方法 | 陈守煜等 | 射频识别在可视化后勤系统中的应用 | |
| 控制结晶工艺制备球形材料 | 何向明等 | | 王爱明等 |
| 苏通大桥短期观测流速在设计基准期 | | 知识互动共享视角——区域创新环境 | |
| 内的应用 | 苏 慧等 | 机理研究 | 饶扬德等 |
| 弹丸在多层复合介质中的爆炸破坏效 | | 油池火细水雾强化火焰现象的研究 | 陆 强等 |
| 应研究 | 周 宁等 | 空调客车内温度控制系统仿真研究 | 于梅春等 |
| 不完备模糊信息系统 | 杨习贝等 | 细水雾灭火技术在电气环境的研究与 | |
| 非连续接触下滚圈的接触压力及疲劳 | | 进展 | 房玉东等 |
| 寿命预测 | 时 或等 | FRP 筋预应力混凝土梁抗弯性研究进展 | 邓宗才 |
| 多智能体分布式智能控制在 VAV 空调 | | | |