

红色地层中的软弱夹层对桥梁桩基影响的研究

刘良贵 彭功勋 李承海

(广州市政工程设计研究院,广东广州 510060)

【摘要】 针对桥梁桩基设计和质量控制中,对软弱夹层处理的简单化、教条化倾向,分析了红色地层中的软弱夹层对桥梁桩基的影响。分析认为,在不同条件下,可按不同方式处理。

【关键词】 桩基;软弱夹层;红色地层

【中图分类号】 TU 447; TU 473.1

Influence of Weak Intercalation Within Red Beds to Pile Foundation of Bridge

Liu Lianggui Peng Gongxun Li Chenghai

(Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute, Guangzhou 510060, Guangdong, China)

【Abstract】 During designing and quantity-controlling of pile foundation of bridges, it's always inclined to handling briefly and dogmatically around weak intercalation. Accordingly, the influence of weak intercalation within red beds to pile foundation of bridge is analyzed. It's concluded that the problem can be processed in different way under different condition.

【Key words】 pile foundation; weak Intercalation; red beds

0 引言

广州地区广泛分布着白垩系—第三系碎屑岩层,由于其颜色多呈红色、紫红色,习惯上称之为“红色地层”。由于沉积环境变化剧烈,广州红色地层的粒度和成分在竖向、水平向都不均匀;而在形成过程中,经受过海进、海退的变化,水环境变化也较频繁。基于这些原因,广州红色地层的一大特点是强度及风化作用的不均匀性。受岩性和不均匀风化的共同作用,在这套红色地层中经常出现具强度和完整性较好的岩土层与相对软弱的岩土层互层的情况^[1],其中相对软弱的岩土层一般称为“软弱夹层”。软弱夹层往往不止一层,有些场地甚至揭露到十几层或更多。

桥梁的特点是荷载大,尤其连续刚构等超静定结构对变形要求很高,而广州红色地层分布区的覆盖层工程地质特性都较差,故在广州红层地区的桥梁一般不能采用天然地基浅基础,而普遍采用桩基础。

在桥梁桩基设计、施工和检测中,往往很少考虑广州这套红色地层的特殊性,而是硬性地套用规范控制桩底持力层,一概不允许桩底3倍桩径范围内

存在软弱夹层。这样的规定无疑有其合理性,而且非常便于工程师应用,但是,这往往导致桩长无谓地加长,造成一定的浪费;而一旦由于软弱夹层形态不均匀,钻探未能揭露,或者施工冲桩超深导致桩底持力层3倍桩径范围内发现软弱夹层,则处理或废桩都是不小的损失。而另一方面,在这套地层上,一些桥梁也在建设或运营的不同阶段出现过桩基下沉或不均匀沉降等问题。随着历史的脚步向前迈进,工程设计的知识水平大幅提高,工程界积累的经验 and 数据都大量增加,在此情况下,对规范的上述规定作必要的修正是值得考虑的。为此,本文就广州红色地层中的软弱岩层对桥梁桩基的影响进行了分析。

1 红色地层的岩性特征

广州地区的红色地层以白垩系碎屑岩为主,根据沉积序列可划分为下统白鹤洞组、上统三水组和大壘山组。其岩性组成情况大致如下。

下统白鹤洞组(K_1b):上部为泥灰岩与砂岩互层;下部为含砾粗砂岩、砂砾岩夹细砂岩、泥岩;顶部有流纹岩及英安斑岩。

上统三水组(K_2S):上段(K_2S^2)为薄—中厚层

状泥岩类夹青灰色薄层泥灰岩、泥质粉砂岩;下段(K₂S₁)为中一厚层状粉细砂岩、含砾粗砂岩及砂砾岩互层或者砂岩夹砾砂岩、粉砂质泥岩和泥岩。

上统大壘山组(K₂d):上段(K₂d²)为不等粒砂岩、粉砂岩,粉砂质泥岩及杂色砾岩,其中砾岩中有较多的灰岩砾石,砾岩中普遍含较高的钙质;下段(K₂d¹)为砾岩、砂砾岩夹粉细砂岩、细砂岩及中粗

砂岩。

其次,在广州西南部的盐步一带分布有第三系(E)红色地层,岩性为砾岩、砂砾岩、钙质粉砂岩夹凝灰岩、凝灰质砂岩及泥岩等。

2 红色地层的基本力学特性

广州红色地层的基本力学特性随岩性、粒度组成和风化程度的不同而异,其主要力学性质情况见表1。

表1 白垩系各岩石基本力学性质表

岩土类型	风化程度	承载力特征值/kPa	天然抗压强度/MPa	内摩擦角φ/(°)	压缩模量/MPa	弹性抗力系数/(MPa·m ⁻¹)	静弹性模量E ₅₀ /10 ⁴ MPa	泊松比μ	备注
泥岩类	全风化	300		18~30	6.54~15.42			0.45	常构成软弱夹层
	强风化	400~600		20~30		90~120		0.35~0.40	
	中风化		2.0~12.3	25~35		120~180	1.3~2.1	0.30~0.35	含钙低时也能成为软弱夹层
	微风化		3.10~22.30	30~40		180~3000		0.25~0.30	
砂岩类	全风化	350		18~30	6.54~15.42			0.45	常构成软弱夹层
	强风化	400~800		20~35		95~125		0.30~0.35	
	中风化		5.0~15.0	20~40		125~200		0.25~0.30	
	微风化		10.0~82.0	25~45		200~3500	2.5~5.0	0.20~0.25	
砾岩类	全风化			18~30	6.54~15.42			0.45	常构成软弱夹层
	强风化	400~1000		25~35		105~1200	0.3~1.5	0.30~0.35	
	中风化		6.7~27.0	30~45		1200~5000	1.5~3.5	0.25~0.30	
	微风化		21.0~110.0	35~55		2000~5000	3.5~11.0	0.20~0.25	
泥灰岩	全风化	350		18~30	6.54~15.42			0.45	常构成软弱夹层
	强风化	400~600		20~30		80~110		0.35~0.39	
	中风化		6.0~13.0	25~35		110~200	0.35~1.0	0.30~0.35	
	微风化		10.0~60.0	30~45		200~600	1.0~2.1	0.25~0.35	
灰岩	微风化		22.0~110.0	25~40		600~2000	2.1~8.4	0.20~0.30	

3 软弱夹层对桥梁桩基影响实例

广州红色地层在不同场区有不同的岩性组合,其软弱夹层的赋存状态也各不相同,由此导致的对桥梁桩基的影响也存在差异。以下谨以几个有代表性的场区出现的工程实例为例说明以上差别。这几个场区分别位于三元里、滨江东路和芳村花蕾路。

3.1 软弱夹层的赋存状态

1)三元里一带:主要分布层状的低强度泥岩,中风化岩天然抗压强度 2.10~7.70 MPa,平均 4.20 MPa;微风化岩天然抗压强度 3.10~10.5 MPa,平均 5.67 MPa。

2)滨江东路:在跨黄埔涌景观桥场区,分布多层

不均匀的砂、砾岩中的全、强风化夹层。全风化岩容许承载力 300 kPa,强风化岩容许承载力 400 kPa。

3)芳村花蕾路:在跨花地河桥场区,岩层为灰岩角砾和高钙质粉细砂岩,其岩溶发育带顶部或底部存在软塑风化夹层。软塑风化夹层的容许承载力 150~200 kPa。

图 1(a)、图 1(b)、图 1(c)分别为上述场区的典型地质柱状图。

三元里场区的泥岩遇水后的软化系数小于 0.25,因此,不仅当其夹于强度较高的岩层间时构成软弱夹层,而且在纯泥岩情况下也可能由于裂隙局部发育或施工原因,导致其局部被浸泡而容易形成类似于其它软弱夹层的状况。

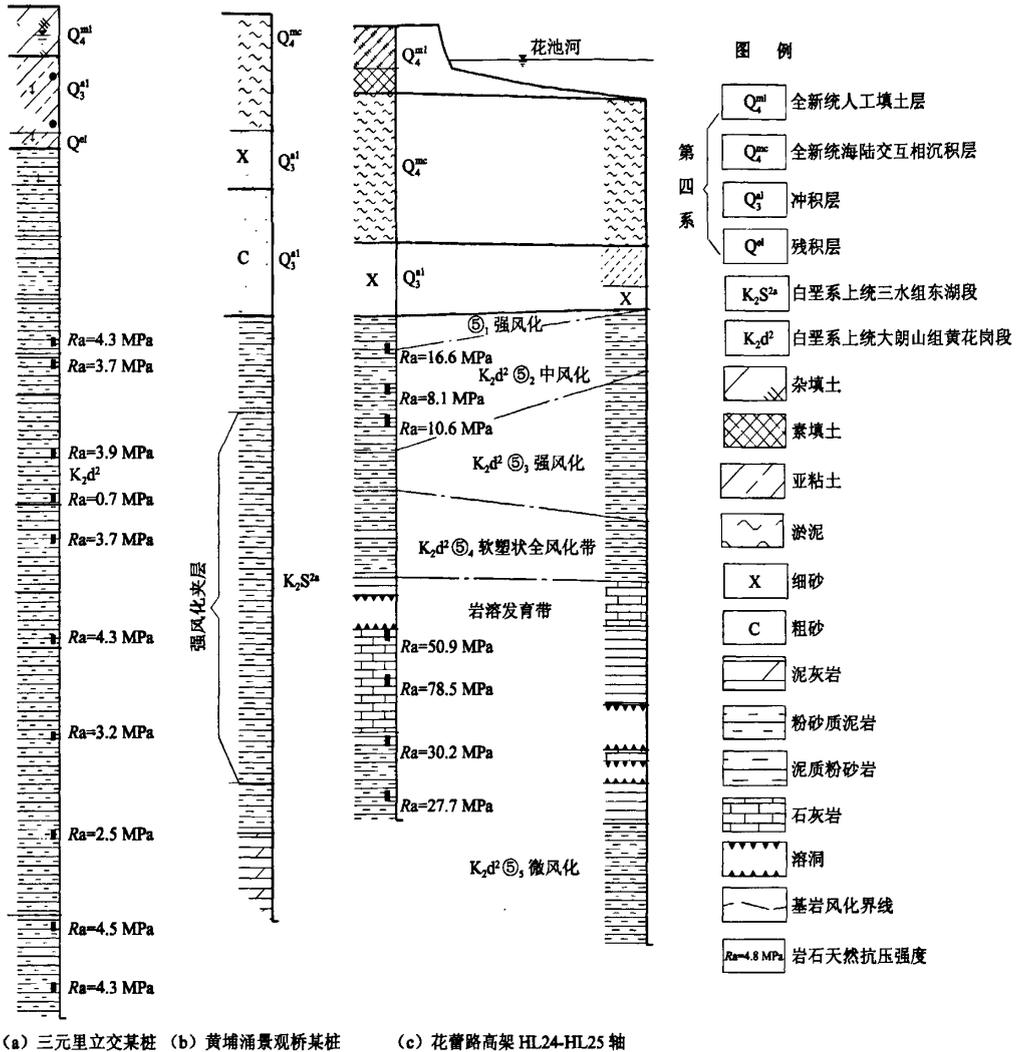


图1 各工程场区的典型地质柱状图

3.2 对桥梁桩基的影响

这些软弱夹层给桥梁桩基的设计和施工带来了不少的困难。

在三元里立交某桩的施工中,由于故障导致桩孔浸泡了近三周才终孔浇筑混凝土成桩。成桩后,发现桩顶下沉,桩基不能自稳。深入研究表明,其原因是低强度泥岩受水浸泡后软化,嵌固段的侧阻力和端阻力均大幅下降,导致桩基承载力不足而下沉。最后,该桩不得不报废,设计方案也相应调整。

在黄埔涌景观桥工程中,抽芯验桩发现,一根桩的桩底以下1.1m处发现厚度0.8m的全风化岩。经研究后,对该桩进行了桩底持力层加固,以满足设计要求。经调查,该桩未布置钻探孔,其桩长设计参照的是相邻桩位的钻孔柱状图。在所参照的钻孔柱

状图中,桩底标高以下3倍桩径范围内未见软弱岩层,但桩底标高以上2.0m左右存在一全风化夹层。综合分析两桩的方位、距离和区内地层产状后发现,该全风化夹层恰有可能从抽芯发现的全风化岩位置通过。以这一分析结论为指导,结合勘察地质资料对场区其它桩位进行了分析判断,较好地解决该场区的终桩控制问题。

芳村花蕾路跨花地河桥工程中,岩土勘察资料反映场区存在较多溶洞,并且在溶洞顶、底附近经常伴生软塑状全风化岩带。根据这一特殊的地质条件进行了桩基设计研究,科学处理了桩底持力层的起算位置、溶洞顶板岩层厚度及其利用原则等关键问题,确保了该桥桩基设计的安全及施工的顺利。与此同时,在相隔不到3km的另一座大桥工程中,由

于勘察设计过程对这种地质环境的软弱岩层认识不足,其勘察成果中,将凡出现溶洞的地质层都归入地质时代较老的石炭系灰岩层,砂泥岩层则划为了白垩系红色地层,不仅造成了新、老地层互相包裹在一起、有违地质逻辑规律的问题,更重要的是掩盖了同一套地层中的软弱岩土体,给桩基设计与施工带来困难的同时,可能给大桥的安全留下了隐患。如今,该大桥已发现局部位置出现裂缝,经过检测之后进行一次加固处理,这或许恰恰是对桩端持力层软弱的认识不足带来的后果。

应该说,到目前为止,由于对广州地区红色地层中的软弱岩层认识不足,已造成不少工程的桩基出现问题。要解决这些问题,需要岩土勘察、设计、施工各方都予以充分重视。

4 软弱夹层发育区桥梁桩基的设计

4.1 软弱夹层的辨别

从以上实例的分析可以看到,只有正确辨别软弱夹层,才能正确处理好软弱夹层的问题。

广州红色地层不同于一般的岩层,软弱夹层不仅仅由风化不均匀而产生,而且存在不同粒度、不同岩性的岩层交互之后而产生的软弱夹层,以及潜在的、可能因后期施工中处理不当而产生的软弱夹层。这就要求我们在勘察过程中保证钻探质量,并仔细观察、认真分析,避免因认识上的错误或遗漏,导致未辨别出这些软弱夹层。

为此,我们必须注意以下问题:

1)不放过钻探过程中发现的局部“异常”现象。如以上提到的溶洞顶、底板伴生的软塑状全风化层,若不细致对待,就可能把这部分土层当作钻探过程操作不当产生的“渣”而予以忽略,从而认识不到问题的本质。

2)要有扎实的地质学基础,并对区域的地层特性了然于胸。还是以上软塑全风化岩的问题,缺乏上述知识的人,很容易把它简单地认作溶洞中的一般填充物,同时产生上述新、老地层互相包裹在一起、有违地质逻辑规律的错误。事实上,产生该现象的原因是,这套红层中存在灰岩,而且砂泥岩含钙量很高,砂泥岩的钙溶蚀后即可能变成软塑的风化土;但它一般临近于溶洞洞顶或洞底,明显整体夹在岩层之内,故依据其产状及赋存状态,只能定义为全风化岩。

3)要充分掌握岩层总体特性,应考虑在整个工程建设过程中岩层可能经历的各种外界影响及变化。前述的泥岩在正常情况下,桩基并不会发生下

沉;但受到浸泡之后却发生了力学性质的变化,仿佛在数天内经历了正常地质环境下数万年的地质作用过程,成为“似风化软弱岩层”,最终导致工程事故的发生。

所以,正确辨别软弱夹层是正确处理软弱夹层问题的基础,必须具体情况具体分析,不能僵化地去认识这一复杂的岩土工程现象。

4.2 软弱夹层发育区桥梁桩基设计

如前所述,广州红层地区软弱夹层的形成及形态各异,情况复杂,需开展大量的研究,阐明不同情况下的桥梁桩基设计方法,在此难以一一展开。为此,本文仅以同时存在两个夹层的模型为例,来阐明多夹层情况下桩基桩端承载力的设计计算。

设一桥梁桩基,桩径 $d=1.5\text{ m}$,单桩轴向抗压承载力容许值为 $[R_a]=9\ 000\text{ kN}$;桩端持力层岩石天然单轴抗压强度为 f_{rk} ,桩端以下存在两层性质相同的软弱夹层,承载力基本容许值为 $[f_{\infty}]=3\ 000\text{ kPa}$ 。两层持力层和两层软弱夹层的厚度记为 x_i ($i=1, 2, 3, 4$)。为便于研究,不妨假设软弱夹层厚度 $x_2=x_4=1\text{ m}$ 。

由于软弱夹层的存在,可认为桩端持力层的竖向承载力由其持力层的抗冲切能力及软弱夹层的竖向承载力控制。根据《公路桥涵地基与基础设计规范》,嵌岩桩单桩轴向抗压承载力为

$$[R_a] = c_1 A_p f_{rk} + u \sum_{i=1}^m c_{2i} h_i f_{rki} + \frac{1}{2} \zeta_s u \sum_{i=1}^n l_i q_{ik} \quad (1)$$

考虑到冲切可能存在不均衡问题,本文在考虑软弱夹层作用时,分别按全断面冲切和单侧冲切进行计算^[2]。

据研究,桩端以下、软弱层以上的持力层抗冲切承载力可由下式计算^[3]

$$F_1 = 0.79 \eta \gamma (n+1) F \quad (2)$$

式中: η ——岩石抗拉强度与抗压强度的比值,石灰岩取 0.059,砂岩取 0.029,在此取 0.029^[4];

n ——桩端以下、软弱层以上持力层厚度与桩径的比值;

F ——桩端持力层抗压承载力, kN。

当假设软弱夹层承受的是全断面冲切时,桩底持力层竖向承载力可由下式计算

$$F_a = 0.023n(n+1)F + \frac{\pi(2n+1)^2 d^2}{4} [f_{\infty}] \quad (3)$$

而对于单侧冲切,只假设一半软弱夹层达到容许承载力,则桩底持力层竖向承载力为:

$$F_a = 0.023n(n+1)F + \frac{\pi(2n+1)^2 d^2}{8} [f_{\infty}] \quad (4)$$

以下先讨论桩端在第一层持力层的情况。

为简化起见,假设桩端入岩深度小于0.5 m,同时仅考虑桩端阻力的作用,并假设端阻力发挥系数 c_1 为0.4。则要求 $0.4F_a \geq [R_s]$ 。

令 $\alpha = \frac{0.4F_a}{[R_s]} = 1$,可以求得,对于全断面冲切和单侧冲切,满足桩端承载力要求所需 n 值随 f_{rk} 值的变化情况见图2。

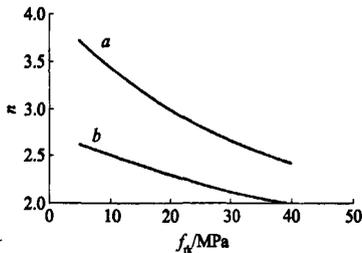


图2 n 值随 f_{rk} 值的变化曲线

由图2可见,随着持力岩体强度的增大,所需的桩底持力层厚度逐渐减小。在全断面冲切情况下,只要持力层 $f_{rk} > 5$ MPa,桩底持力层的厚度就不需要 $3d$;即使只考虑单侧冲切,也仅大约在 $f_{rk} < 20$ MPa的情况下,持力层厚度需要 $> 3d$,而在 $f_{rk} \geq 20$ MPa的情况下,持力层厚度则不需要 $3d$ 。

假设按单侧冲切考虑,那么,当第一层持力层厚度 x_1 小于图2中 a 曲线的 nd 值时,桩则必须穿过第一层持力层和第一层软弱层,以第二层持力层为桩端持力层。

此时,在计算桩基承载力时,增加了以上两层岩石的桩侧阻力,其所需的桩端持力层的承载力减小为 $F' = F - \sum_{i=1}^2 c_{i2} h_i f_{rk_i}$ 。因此,对 x_3 的厚度要求将比 x_1 小,其算法如第一层持力层的情况,在此不再计算。

5 结论

1) 4.2节对桩端位于第一持力层的冲切计算中,略去了桩端以上土层的侧摩阻力和嵌岩段的嵌固力,其计算结果偏于安全。对于上覆土层力学性质较好的实际工程场地,土层将给桩基提供较大的侧摩阻力,在设计计算时不宜忽略^[2]。在考虑侧阻力作用的情况下,桩端所需阻力相应减小,图2中的两条曲线将向下移,即所需的桩端持力层厚度比上述计算结果更小,往往并不需要 $3d$,甚至 $< 2d$ 即可。

2) 对于广州红色地层发育区的桥梁桩基,在强化工程勘察质量、详细查明软弱夹层分布的同时,设计过程还应根据地质规律、岩层的力学特性和施工环境等因素,准确辨别软弱夹层的存在情况,避免被忽略或误判;在此基础上,需根据桩的荷载、桩端持力层的强度、软弱夹层的分布等考虑其抗冲切破坏能力,依次进行桩基设计。

3) 当桩基检测发现桩端以下 $3d$ 范围内存在未预料到的软弱夹层时,建议先按本文提出的思路进行验算,并根据检测资料及验算结果组织专家会诊,来确定处理方案,避免盲目采取加固措施造成浪费和延误工期。

参考文献

- [1] 刘良贵,伊颖锋,李承海. 广州市工程岩土环境分区与基本特征[J]. 工程地质学报, 2006, 14(增刊): 18-24.
- [2] 林天键,等. 桩基础设计指南(第一版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999: 79-117; 290.
- [3] 彭功勋,林春秀,单联君,等. 嵌岩端承桩桩底冲切实用计算[J]. 城市道路与防洪, 2007, 8(5): 130-133.
- [4] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 167.

收稿日期: 2009-01-12

(上接第81页)

2) 深度5 m以上加固效果明显,深度5 m以下加固效果不明显。

3) 夯后地基承载力特征值比处理前提高幅度在50%以上。

参考文献

- [1] YSJ 209—1992, YBJ 25—1992 强夯地基技术规程。

- [2] CECS 55:93 孔隙水压力测试规程。
- [3] JTJ 059—1995 公路路基路面现场测试规程。
- [4] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准。
- [5] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范。
- [6] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范。

收稿日期: 2009-02-09